
HIPOSENS: UNA APLICACIÓN PARA LA PREDICCIÓN DE EPISODIOS DE HIPOTENSIÓN



Trabajo de Fin de Master

Curso 2017-2018

Alfonso Tomé Coronas

Directores

Juan Antonio Recio García

Belén Díaz Agudo

Master en Ingeniería Informática

Facultad de Informática

Universidad Complutense de Madrid

HIPOTENS: una aplicación para predicción de episodios de hipotensión

Trabajo de Fin de Master de Ingeniería Informática
Departamento de Ingeniería del Software e inteligencia
Artificial

Autor

Alfonso Tomé Coronas

Directores

Juan Antonio Recio García

Belén Díaz Agudo

Convocatoria: Septiembre 2018

Calificación: 6 - Aprobado

Master en Ingeniería Informática

Facultad de Informática

Universidad Complutense de Madrid

24 de Octubre de 2018

Autorización de Difusión

El abajo firmante, matriculado en el Máster en Ingeniería Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster: “Hipotens: una aplicación para la explicación de las predicciones de episodios de hipotensión”, realizado durante el curso académico 2017-2017 bajo la dirección Juan Antonio Recio García y Belén Díaz Agudo en el Departamento de Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Alfonso Tomé Coronas

3 de Septiembre de 2018

Agradecimientos

Antes de comenzar, me gustaría dedicar unas líneas a todas aquellas personas que me han apoyado a lo largo de estos años.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis dos directores del Trabajo de Fin de Máster, Juan Antonio Recio García y Belén Díaz Agudo, agradeceros toda la atención que me habéis prestado, así como vuestro apoyo incondicional, animándome y depositando vuestra confianza en mí.

También me gustaría agradecer a mis amigos y compañeros de clase por haber sido un punto de apoyo en los momentos más complicados, pero también por todas esas tardes y fines de semana en los que Skype se convirtió en nuestro aliado para poder terminar los trabajos que nos habían mandado y conseguíais que algo que, en un principio iba a ser eterno, se pasase rápidamente.

Finalmente, pero no por ello menos importante, agradecer a mi familia, concretamente a mis padres y mi hermana, su apoyo constante e incondicional incluso en los momentos de crisis; es por todo esto que este Proyecto de Fin de Máster está dedicado a vosotros.

Resumen

La medicina hoy en día tiene una estrecha relación con el mundo de las TIC, ya sea para la detección de enfermedades que están presentes, para poder almacenar la información de los pacientes o para, incluso, monitorizar el estado de salud de los mismos. Gracias a estos sistemas, se pueden tratar las enfermedades que cualquier paciente puede estar sufriendo, ya que se realizaron los análisis pertinentes. Sin embargo, actualmente lo que no se está efectuando es la detección de las enfermedades antes de que puedan llegar a manifestarse.

Es en esta materia en la que destaca HIPOTENS, al tratarse de una aplicación que permite llevar a cabo la predicción de episodios de hipotensión, basándose en los datos del paciente, como es el caso del sexo, edad, enfermedades que padece y el nivel de oxígeno en sangre.

La aplicación se ha desarrollado utilizando tecnologías web, de manera que se garantiza una amplia accesibilidad desde cualquier sistema permitiendo que llegue a un mayor número de usuarios. Está formada por el predictor de episodios de hipotensión, un sistema de búsquedas de pacientes similares que sirve como explicación al resultado de la predicción, y un histórico de los pacientes para que de esta forma se pueda comparar cómo ha sido la evolución de los episodios con el paso de los años.

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco de los proyectos TIN2014-55006-R y TIN2017-87330-R.

Palabras Clave

Predictor, hipotensión, redes neuronales, HIPOTENS, enfermedades cardíacas.

Abstract

Medicine today has a close relationship with the world of ICT, either for the detection of diseases that are present, to be able to store the information of patients or even monitor their health status. Thanks to these systems, diseases that any patients may be suffering can be treated, since the relevant tests were carried out. However, it is not currently taking place is the detection of diseases before they can manifest themselves.

It is in this matter that HIPOTENS stands out, since it is an application that allows predicting episodes of hypotension, based on the patient's data, such as sex, age, diseases and the level of oxygen in blood.

The application has been developed using web technologies, so that wide accessibility is guaranteed from any system allowing it to reach a greater number of users. It is formed by the predictor of episodes of hypotension, a system of searches of similar patients, which serves as an explanation to the result of the prediction, as well as a history of the patients so that in this way we can compare how the episodes have evolved over the years.

This work has been developed within the framework of the projects TIN2014-55006-R y TIN2017-87330-R.

Key Words

Predictor, hypotension, neural networks, HYPOTENS, heart diseases.

Contenido

Introducción.....	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Método de trabajo	4
1.4. Estructura de la memoria	6
 Introduction	 9
2.1. Motivation	9
2.2. Objectives	11
2.3. Work method.....	12
2.4. Memory structure	13
 Estado del Arte	 17
3.1. Hipotensión	17
3.1.1. ¿Qué es la hipotensión?	18
3.1.2. Sintomatología de la hipotensión arterial.....	19
3.1.3. Tipos de episodios de hipotensión	20
3.1.4. Diferencia entre hipertensión e hipotensión.....	22
3.2. La detección de los episodios de hipotensión	23
3.2.1. Sistema tradicional	23
3.2.2. Sistemas experimentales.....	24
3.2.2.1. Detección durante la operación	25
3.2.2.2. Predicción empleando modelos ocultos de Markov	26

3.3. Tecnologías empleadas	26
3.3.1. HTML	27
3.3.2. CSS.....	28
3.3.3. Bootstrap.....	29
3.3.4. JQuery.....	30
3.3.5. JSON	30
3.3.6. Python	31
3.3.7. Django	32
3.3.8. HighCharts.....	34
Arquitectura de la Aplicación	37
4.1. MVC.....	37
4.2. Redes neuronales.....	40
4.2.1. Características	40
4.2.1.1. Topología.....	40
4.2.1.2. Fases del aprendizaje.....	41
4.2.1.3. Tipos de aprendizaje	42
4.2.2. Perceptron.....	42
 _Toc524305295	
Estructura de la información.....	45
5.1. PhysioNet	45
5.2. Estructura de los datos	47
5.3. CIE-9-MC	50

Hipotens.....	53
6.1. Página principal	53
6.2. Selección del usuario	55
6.3. Predicción del episodio	57
6.4. Búsqueda de pacientes similares	59
6.5. Histórico de pacientes.....	63
Conclusiones y Trabajo Futuro	65
7.1 Conclusiones.....	65
7.2 Trabajo futuro	67
Conclusions and Future Work	69
8.1 Conclusions	69
8.2 Future Work.....	70
Referencias.....	73

Índice de figuras

Ilustración 1: Lección de anatomía del Dr. Nicolás Tulp (1632) de Rembrandt van Rijn.....	2
Ilustración 2: Modelos de desarrollo	5
Ilustración 3: Test de la mesa basculante.....	24
Ilustración 4: Universidades de California y la de los Ángeles.....	25
Ilustración 5: Tecnologías empleadas.....	27
Ilustración 6: Estructura de Django Fuente: developer.mozilla.org	33
Ilustración 7: Ejemplo de gráfico Fuente: HighCharts	35
Ilustración 8: JSON empleado para el gráfico.....	35
Ilustración 9: Arquitectura MVC	39
Ilustración 10: Topología de las redes neuronales Elaboración propia .	41
Ilustración 11: Comportamiento de Perceptron	43
Ilustración 12: PhysioNet	46
Ilustración 13: PhysioNetWorks Fuente: PhysioNet.....	47
Ilustración 14: Ejemplo fichero ".txt"	49
Ilustración 15: Página principal	54
Ilustración 16: Selección del paciente.....	55
Ilustración 17: Carga de los datos del paciente.....	56
Ilustración 18: Enfermedades del paciente	56
Ilustración 19: Gráfica del SPO ₂ del paciente.....	57

Ilustración 20: Ventana cuando se está prediciendo	58
Ilustración 21: Resultado de la predicción	58
Ilustración 22: Pestaña de búsqueda de pacientes similares.....	59
Ilustración 23: Panel izquierdo de búsqueda de pacientes.....	60
Ilustración 24: Resultado de la búsqueda de pacientes similares.....	61
Ilustración 25: Resultado de la búsqueda de pacientes similares con enfermedades	62
Ilustración 26: Pestaña de histórico de pacientes.....	63
Ilustración 27: Gráfico del histórico de pacientes	64
Ilustración 28: Tabla de paciente ordenada por años.....	64

Capítulo 1

Introducción

Antes de comenzar es importante saber cuál ha sido la evolución que ha tenido la medicina hasta lo que conocemos hoy en día, así como el gran impacto que ha supuesto la introducción de la tecnología en la materia.

1.1. Motivación

La medicina es una de las ramas que ha sido más estudiada a lo largo de los años y que, a su vez, ha experimentado una gran cantidad de cambios. En los orígenes se creía en la medicina mágico-religiosa, en la que toda enfermedad que fuese contraída por un hombre era un castigo divino y, por lo tanto, los encargados de curarlo eran aquellos con algún poder divino, como por ejemplo, los sacerdotes ya que eran capaces de comunicarse con los dioses. Cabe destacar que en esta época no había ningún sistema para la detección de las enfermedades, por lo que se recurría a esta “magia” para intentar curar a los enfermos.

Con el paso del tiempo se comenzó a separar la medicina de lo divino y, por lo tanto, a estudiarla más, tanto en la detección como en la curación de las enfermedades. En los primeros años, la medicina y las enfermedades se estudiaban una vez había fallecido la persona, tal y como muestra Rembrandt en su cuadro *Lección de anatomía del Dr. Nicolás Tulp* de 1632 (véase Ilustración 1).



Ilustración 1: Lección de anatomía del Dr. Nicolás Tulp (1632) de Rembrandt van Rijn.

Los sistemas de detección de enfermedades fueron mejorando con la introducción de las máquinas de rayos X, los TAC (tomografía axial computarizada) o, incluso, de los análisis de sangre. Es importante mencionar que todos estos sistemas se emplean para detectar las enfermedades que ya presenta el paciente, y no para predecir las que puede padecer o las consecuencias que estas pueden tener en el mismo.

En la actualidad se están introduciendo nuevos sistemas para la detección previa de las posibles enfermedades que pueda presentar un paciente, todo ello apoyándose en la tecnología y es en este campo en el que destaca este trabajo,

ya que permite conocer con antelación si un usuario puede a sufrir un episodio de hipotensión o no.

Hoy en día la hipotensión es una enfermedad que cada vez está afectando a más personas, tal y como se demuestra en un estudio realizado por la universidad de Alabama en Birmingham. Dicho estudio, se llevó a cabo con 3.510 enfermos con una edad media de 74 años y con una desviación de 6 años. El grupo estaba comprendido por 2.035 mujeres y 1.475 hombres, de dicho grupo, 526 eran de color, mientras el resto no lo eran. Como resultado se obtuvo que el 18% de los enfermos sufrió un episodio de hipotensión y de este porcentaje, el 20%, tuvo mareos que, como se mostrará más adelante, es uno de los síntomas que presenta este tipo de enfermedades (Alagiakrishnan, y otros, 2014).

Por todo esto, mediante Hipotens y el empleo de un sistema de *machine learning*, se busca el poder predecir mediante una serie de parámetros si un paciente va a sufrir un episodio de hipotensión, para que así se pueda actuar con antelación y, de esta forma, evitar que a dicho paciente le puedan quedar secuelas de la enfermedad.

1.2. Objetivos

El principal objetivo en el desarrollo de la aplicación ha sido el de crear una sistema que fuese intuitivo y fácil de usar, además de preciso a la hora de predecir los posibles episodios que pueda sufrir un paciente.

Para Hipotens, se presentan los siguientes objetivos:

- Facilitar a los doctores la detección temprana de los casos de hipotensión que puedan sufrir los pacientes.
- Ofrecer una interfaz sencilla de usar y que no conlleve más de 3 *clicks* el poder predecir el episodio.

- Facilitar la comparación entre los pacientes para saber por qué un paciente puede sufrir o no un episodio, ya sea basándose en el sexo, la edad o en otras enfermedades que pueda tener el sujeto.
- Mostrar un histórico de los pacientes que han sido ingresados y hayan sufrido o no un episodio de hipotensión.
- Predecir de forma rápida y eficiente los posibles episodios que puedan sufrir los pacientes.
- Aplicar los medicamentos de forma precisa e incluso preventiva en lugar de curativa.
- Predecir si un paciente puede sufrir un episodio de hipotensión antes de una operación, en lugar de detectarlo o predecirlo durante la misma, ya que hay aplicaciones que permiten llevar a cabo esta previsión, como se muestra más adelante.

1.3. Método de trabajo

Este apartado se dedica a explicar la estrategia, así como el plan de trabajo, seguidos en el desarrollo del proyecto. Durante el desarrollo del mismo se tiene en cuenta que, dentro de los métodos de trabajo existentes, no existe una única opción viable, sino que al inicio se explica de forma breve otra posibilidad existente a la hora de diseñar las estrategias de trabajo.

Las estrategias de procesamiento que se han planteado para la ejecución de este proyecto son las conocidas como *Top-Down* y *Bottom-Up*, siendo esta última la opción elegida atendiendo a las características que se exponen a continuación (véase Ilustración 2).

En primer lugar, en la estrategia *Top-Down* existe previamente una visión general del proyecto y se comienza definiendo las partes más amplias del

proyecto, lo que se podía considerar una síntesis del mismo, para proceder a continuación a desarrollar las más pequeñas, es decir, los detalles.

El segundo modelo es el de *Bottom-Up*, en este caso, el proyecto comienza con la definición de los detalles, es decir, de las partes más pequeñas, al no existir una visión global clara y concisa del sistema que se pretende desarrollar. Gracias a estos “segmentos” que se van implementando, se pueden llevar a cabo soluciones para así solventar los fallos, cambios o mejoras que vayan surgiendo. Con estas soluciones se va construyendo una aplicación más robusta.

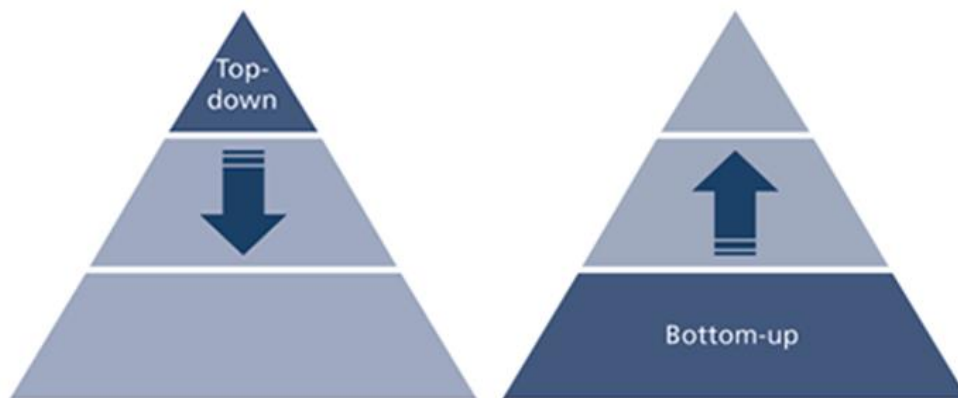


Ilustración 2: Modelos de desarrollo

Teniendo en cuenta las características expuestas, como es la necesidad de conocer de forma completa el funcionamiento del sistema, y el hecho de no permitir la ejecución de pruebas durante el desarrollo del mismo, se opta por descartar el modelo *Top-Down* para seguir el modelo *Bottom-Up*. La elección se fundamenta en la falta de concreción en el resultado final de la aplicación, pues al principio no se tenía claro cómo iba a ser. De esta manera, primero se crean los servicios por separado y, a medida que se van terminando de desarrollar, se integran con la aplicación web y se implementa la interfaz para el usuario, facilitándose así la reutilización de código (Kirao, 2009).

Gracias al desarrollo de módulos separados de la aplicación, se pudieron llevar a cabo pruebas independientes por cada uno de estos para comprobar que funcionaban correctamente. Además, durante la integración con la interfaz del usuario se llevaron a cabo pruebas para asegurarse del correcto funcionamiento de los servicios con la aplicación.

1.4. Estructura de la memoria

La memoria se estructura en seis capítulos cuyo contenido y aspectos fundamentales se sintetizan en este apartado.

- Los **Capítulos 1 y 2**, se dedican a la motivación para llevar a cabo este proyecto, además de una breve introducción histórica referida al aspecto médico que ocupa este documento, y los objetivos que se desean conseguir.
- El **Capítulo 3** se centra en el Estado del Arte, para lo que se realiza una breve introducción al concepto de hipotensión, los síntomas y las posibles secuelas que puedan quedar, así como los riesgos de sufrir un episodio, con el fin de conocer los elementos clave que establecen la relevancia de predecirlo. Asimismo se explican cuáles son los distintos sistemas para detectar los episodios de hipotensión, abarcando desde los más tradicionales, como es el caso de la entrevista con el médico, hasta la introducción de la tecnología en su detección ya sea durante la operación o cuando están ingresados en la UCI.
Por último, en este capítulo también se explican las distintas tecnologías que se han empleado en el desarrollo de la aplicación y

una breve introducción histórica y la importancia de la tecnología en el desarrollo.

- En el **Capítulo 4** se trata cuál ha sido el patrón de diseño que se ha empleado a la hora de desarrollar la aplicación, así como sus características y las distintas partes que lo componen con una breve explicación de cada una.

Además, se explica cuál ha sido el sistema que se ha empleado para llevar a cabo la predicción de los episodios, que en este caso han sido las redes neuronales. Para ello se estudian sus principales características como, por ejemplo, las distintitas fases por las que pasa el sistema y los tipos de redes que existen basándose en las capas que lo componen. Por último, se explica cuál ha sido el tipo de red neuronal que se ha usado, que en este caso ha sido Perceptron.

- El **Capítulo 5** se dedica al análisis de PhysioNet, la página de la cual se ha obtenido los dataset para el desarrollo de la aplicación. Además, esta página está compuesta por otras dos herramientas, aparte de la base de datos del dataset: una página con software libre que se emplea para trabajar con la información que se obtiene de la base de datos, y la otra herramienta es un entorno de desarrollo de aplicaciones para el trabajo individual o colectivo.
- En el **Capítulo 6** se explica el comportamiento que tiene la aplicación en cada una de las distintas vistas, ya sea en la pantalla principal, la de búsqueda de un paciente similar o la del histórico de los pacientes, así como las distintas acciones que se pueden llevar a cabo.

- Los **Capítulos 7 y 8** concluyen la memoria valorando si los objetivos del desarrollo se han cumplido y las posibles líneas de trabajo futuro.

Chapter 2

Introduction

Before starting it is important to know how medicine has evolved to what we know today and the great impact the introduction of technology has done in this field.

2.1. Motivation

Medicine is one of the branches that has been studied the most over the years and which, in turn, has undergone a lot of changes. Originally believed in magico-religious medicine, in which every disease that was contracted by a man was a divine punishment and, therefore, those charged with curing it were those with some divine power, such as priests since they were able to communicate with the gods. It should be noted that at this time there was no system for the detection of diseases, which is why this "magic" was used to try to cure the sick.

Over the years, medicine began to be separated from the divine and, therefore, it started to be studied, both in the detection and in the cure of

diseases. In the first years, medicine and diseases were studied once the person had died, as shown by Rembrandt in his painting Dr. Nicolas Tulp's Anatomy Lesson of 1632.

Disease detection systems were improved with the introduction of x-ray machines, CT scans (computed tomography) or even blood tests. It is important to mention that all these systems are used to detect the diseases that the patient already has, and not to predict what they may suffer or the consequences they may have on it.

Currently, new systems are being introduced for the preliminary detection of possible diseases that a patient may present, all of this relying on technology and it is in this field, where this work stands out because it allows to know in advance if a user can suffer an episode of hypotension or not.

Today, hypotension is a disease that is affecting more and more people, as shown in a study conducted by the University of Alabama in Birmingham. This study was carried out with 3,510 patients with an average age of 74 years and a deviation of 6 years. The group was comprised of 2,035 women and 1,475 men, of that group, 526 were colored, while the rest were not. As a result it was obtained that 18% of the patients suffered an episode of hypotension and of this percentage, 20%, had dizziness that, as will be shown later, is one of the symptoms that presents this type of diseases (Alagiakrishnan, y otros, 2014).

For all this, with Hipotens and the use of a machine learning system, the aim is to be able to predict by means of a series of parameters if a patient is going to suffer an episode of hypotension, so that some actions can be made in advance and, in this way, to avoid the sequelae of the disease on that patient. Finally, it is necessary to indicate that Hipotens is the base of a great project that can grow and evolve in a simple way adding new functionalities or improving its prediction system.

2.2. Objectives

The main objective in the development of the application has been to create a system that is intuitive and easy to use, as well as accurate when predicting possible episodes that a patient may suffer.

For Hipotens, the following objectives are presented:

- Provide doctors with early detection of cases of hypotension that patients may suffer.
- Offer a simple interface to use and that does not take more than 3 clicks to be able to predict the episode
- Facilitate the comparison between patients to know why a patient may or may not suffer an episode, whether based on sex, age or other diseases that the subject may have.
- Show a history of patients who have been admitted and have suffered an episode of hypotension or not.
- Predict quickly and efficiently possible episodes that patients may suffer.
- Apply medications accurately and even preventively instead of curative.
- Predict whether a patient may suffer an episode of hypotension before an operation, instead of detecting it or predicting it during the operation, since there are applications that allow carrying out this forecast, as shown below.

2.3. Work method

This section is dedicated to explain the strategy, as well as the work plan, followed in the development of the project. During its development, it is taken into account that within the existing work methods there is not a single viable option, but at the beginning, a brief explanation of another existing possibility at the time of designing the work strategies is explained.

The processing strategies that have been proposed for the execution of this project are those known as Top-Down and Bottom-Up, being the last one, the option chosen based on the characteristics set out below.

In the first place, in the Top-Down strategy there is previously a general vision of the project and it begins by defining the broader parts of the project, which could be considered a synthesis of it, in order to proceed then to develop the smaller ones, that is to say , the details.

The second model is that of Bottom-Up, in this case, the project begins with the definition of the details, that is, of the smallest parts, as there is no clear or concise global vision of the system to be developed. Thanks to these "segments" that are being implemented, solutions can be carried out to solve any faults, changes or improvements that may arise. With these solutions a more robust application is being built.

Taking into account the exposed characteristics, such as the need to know completely the operation of the system, and the fact of not allowing the execution of tests during the development of the same, it is decided to discard the Top-Down model, and follow the model Bottom-Up. The choice is based on the lack of concreteness in the final result of the application, because at the beginning it was not clear how it was going to be. In this way, the services are created separately and, as the development is finished, they are integrated with the web

application and the interface for the user is implemented, facilitating thus the reuse of code (Kirao, 2009).

Thanks to the development of separate modules of the application, independent tests could be carried out for each of these to verify that they worked correctly. In addition, during the integration with the user interface tests were carried out to verify the correct functioning of the services with the application.

2.4. Memory structure

The report is structured in six chapters whose content and fundamental aspects are summarized in this section.

- **Chapters 1 and 2**, are dedicated to the motivation to carry out this project, as well as a brief historical introduction referring to the medical aspect that this document occupies, and the objectives that are to be achieved.
- **Chapter 3** focuses on the State of the Art, for which a brief introduction is made to the concept of hypotension, the symptoms and possible sequelae that may remain, as well as the risks of suffering an episode, in order to know the elements key that establish the relevance of predicting it. It also explains what are the different systems to detect episodes of hypotension, ranging from the most traditional, such as the case of the interview with the doctor, to the introduction of the technology in its detection either during the operation or when admitted in the ICU. Finally, this chapter also explains the different technologies that have been used in the development of the application and a brief

historical introduction and the importance of technology in development.

- **Chapter 4** discusses the design pattern that has been used when developing the application, as well as its characteristics and the different parts that comprise it with a brief explanation of each one. In addition, it explains what has been the system that has been used to carry out the prediction of the episodes, which in this case have been neural networks. For this, its main characteristics are studied, such as, for example, the different phases through which the system passes and the types of networks that exist based on the layers that compose it. Finally, it explains what has been the type of neural network that has been used, which in this case has been Perceptron.
- In **Chapter 5**, is dedicated to the analysis of PhysioNet, the page from which the dataset has been obtained for the development of the application. In addition, this page is composed of two other tools, apart from the database of the dataset: a page with free software that is used to work with the information obtained from the database, and the other tool is an environment of development of applications for individual or collective work.
- **Chapter 6** explains the behavior of the application in each of the different views, whether in the main screen, the search of a similar patient or the history of patients, as well as the different actions that can be carried out.

- **Chapters 7 and 8** conclude the report assessing whether the objectives of the development have been met and the possible lines of future work.

Capítulo 3

Estado del Arte

En primer lugar, para poder desarrollar esta aplicación correctamente, es fundamental entender qué es un episodio de hipotensión, las características y síntomas del mismo y los distintos tipos que pueden tener lugar. Además, es necesario conocer qué otras aplicaciones o sistemas se emplean actualmente para detectarlos, incluyendo también aquellos métodos más tradicionales.

Por ello, este capítulo se va a dedicar a la explicación detallada de todo lo anteriormente mencionado, así como de la tecnología que se ha usado. El objetivo final es establecer cuáles son los avances en este campo, de forma que el proyecto los complemente y amplíe.

3.1. Hipotensión

Uno de los principales contratiempos que pueden surgir en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) son los episodios de hipotensión. Este tipo de

dolencias requieren de una intervención rápida y efectiva, ya que en caso contrario se podrían provocar daños graves al paciente o, incluso, causar la muerte del mismo. Para reducir estas posibles lesiones es fundamental actuar de forma oportuna y apropiada a cada caso pues se pueden producir por una gran variedad de causas. Debido a este último aspecto, la forma que se emplea para actuar en cada caso varía.

3.1.1. ¿Qué es la hipotensión?

Para comprender qué es la hipotensión, primero hay que entender que es la presión arterial. Esta última se define como la fuerza con la que la sangre fluye a través de las arterias y venas del cuerpo durante las fases de actividad y reposo del corazón, diferenciando entre presión sistólica, cuando el corazón bombea sangre, y la presión diastólica, que se produce cuando está en reposo y por lo tanto no bombea, es decir, el tiempo que hay entre los latidos.

La encargada de regularla, además del corazón, es la tensión de las paredes de las arterias y de las venas. Esta presión puede presentar unos niveles altos y bajos. Los límites normales de los niveles altos están comprendido entre los 130-90 mmHg (milímetros de mercurio) y los niveles bajos suelen estar entre los 80-60 mmHg (Saceda Corralo, 2018).

Como se ha visto, hay algunos doctores que establecen unos parámetros máximos y mínimos para determinar si un paciente está sufriendo o no un episodio de hipotensión, pero otros, como William N. Kelley en su libro *Medicina interna, Volumen 1* establece que “no es particularmente útil definir la hipotensión con un nivel absoluto de presión arterial debido a la amplia variación conocida tanto interindividual como intraindividual” (Kelley, 1993, pág. 382). Teniendo en cuenta esto, será fundamental atender a las características del conjunto, pero también las del paciente.

En caso de que los niveles estén por debajo de esos límites, se puede hablar de hipotensión arterial, lo que podría derivar en que los órganos no recibiesen la cantidad necesaria de sangre, incluyendo aquellos vitales, como son el cerebro y el corazón, pudiendo llegar a producir daños mayores o, incluso, la muerte.

Entre la diversidad de factores que pueden derivar en episodios de hipotensión, destacan la edad, pues las personas mayores de 65 años son susceptibles de padecerlos si permanecen durante largos periodos de tiempo de pie o una vez hayan terminado de realizar una ingesta de alimentos; la consumición de algún tipo de medicamento para reducir la presión arterial alta o hipertensión y, por último, el padecer determinadas enfermedades tales como el Parkinson o la diabetes, así como dolencias de tipo cardiaco que puedan conllevar una bajada de la presión sanguínea (Mayo Clinic, 2018).

Teniendo presente todo lo mencionado anteriormente, es importante destacar que los valores que emplea el software propuesto para predecir si un paciente puede sufrir o no un episodio de hipotensión, se centran en la edad, el sexo y las enfermedades, como rasgos fundamentales.

3.1.2. Sintomatología de la hipotensión arterial

Tratada ya la definición de la hipotensión y los factores que pueden hacer que se produzca con mayor frecuencia, se procede a explicar, en este apartado, cuáles son los síntomas principales que presenta para facilitar su identificación.

El primero de ellos, y más común, es el de los mareos. Esto se debe a que, una vez se ha producido la bajada de presión sanguínea, el primer lugar al que deja de llegar la sangre es al cerebro, aunque la recuperación en estos casos es muy rápida.

Otros de los síntomas que presenta esta enfermedad, que se manifiestan en menor cantidad, son los que se muestran a continuación:

- Confusión.
- Una gran debilidad al llevar a cabo pequeños esfuerzos.
- Palidez de la piel, debido a que se ha reducido el riego sanguíneo.
- Dolor de cabeza.
- Alteración del sueño que causa dificultades para dormir por la noche.
- Náuseas.

Estos últimos se suelen dar en personas que sufren una hipotensión crónica, es decir, siempre presentan una presión sanguínea baja. Debido a esto sus cuerpos se acostumbran a no tener tanto oxígeno y, por lo tanto, no demandan la misma cantidad que una persona que no lo sufre.

3.1.3. Tipos de episodios de hipotensión

Los distintos tipos de episodios de hipotensión pueden ser divididos en diversos grupos en función de las causas que los ocasionen. A continuación, se explica la clasificación existente.

El primero de ellos es la presión sanguínea baja cuando se pone de pie o **hipotensión ortostática**. Se produce cuando se pasa de estar tumbado a estar de pie, pero quedándose estático, produciéndose una acumulación de sangre en las piernas.

En caso de una persona sana esto no tendría mayor problema, ya que el cuerpo automáticamente se regula para que llegue más sangre al cerebro, pero

en las personas que sufren este problema no se autorregula y les puede llegar a causar mareos, vista borrosa e incluso el desmayo. En caso de que sea por levantarse después de estar tumbado durante un periodo de tiempo prolongado, no tiene por qué producirse en el momento de la incorporación sino a los 5 o 10 minutos, en este caso recibe el nombre de hipotensión ortostática retardada.

Este tipo de hipotensión se puede producir por diversos motivos como son el embarazo, estar mucho tiempo tumbado y a continuación incorporarse, la deshidratación o el consumo de algún medicamento como entre los que se encuentran los empleados para el tratamiento del Parkinson, los antidepresivos.

Otro de los posibles episodios que puede tener lugar es la conocida como **hipotensión posprandial** o presión arterial baja después de comer, este tipo de afección se produce principalmente en personas mayores y después de comer.

Después de comer la sangre fluye por el tubo digestivo y en las personas que no sufren esta enfermedad, cuando se termina la ingesta, el cuerpo regula la presión mediante la contracción de ciertos vasos sanguíneos y acelerando el ritmo cardíaco. En las personas que sufren la enfermedad este mecanismo falla causando mareos, desmayos y caídas.

Este tipo de hipotensión se suele dar en personas que padecen de alguna enfermedad como por el Parkinson, ya mencionado anteriormente, o que tienen la presión arterial alta. Para evitar que esto suceda se debe tomar comida en porciones reducidas y disminuir la cantidad de medicinas para la presión arterial.

Además, se pueden dar episodios de hipotensión por dos tipos de daños distintos: debido a señales cerebrales defectuosas, también llamada **hipotensión mediada neuralmente**, o por daños en el sistema nervioso, conocida como **atrofia multisistémica con hipotensión ortostática**.

La primera de ellas, la que se debe a fallos por señales defectuosas, se provoca cuando el paciente está mucho tiempo parado. Esta enfermedad afecta

principalmente a jóvenes y niños y se debe a que se produce un fallo en la comunicación entre el cerebro y el corazón, por lo que no se regula correctamente la presión sanguínea.

La segunda, la causada por los daños en el sistema nervioso, también recibe el nombre de “síndrome de Shy-Drager”. Es una enfermedad poco común que causa un fallo progresivo en el sistema nervioso que es el encargado de controlar, entre otros, la presión sanguínea y la frecuencia cardíaca. Esta enfermedad está estrechamente relacionada con la presión arterial muy elevada al estar acostado (Cuídate Plus, 2016).

Por último, cabe destacar los episodios de hipotensión agudos que son aquellos en los que el episodio dura más de 30 minutos.

3.1.4. Diferencia entre hipertensión e hipotensión

Una vez vistas las principales características de la hipotensión y su relevancia a nivel médico, se va a proceder a ver las principales diferencias entre la hipertensión y la hipotensión.

La diferencia principal entre estas dos dolencias es la presión sanguínea en cada una de ellas. En el caso de la hipertensión, la presión arterial diastólica está por encima de los 90 mmHg y/o una presión sistólica supera los 140mmHg. En la hipotensión, como ya se ha mencionado, la presión sistólica debe estar por debajo de los 90 mmHg o 30 mmHg por debajo de la presión sanguínea habitual del paciente.

No solo existen diferencias en la presión sanguínea entre ambos padecimientos, también varían las consecuencias que pueden tener en el paciente, aunque ambas a largo plazo pueden suponer un riesgo para la salud ya que afectan al corazón, el hígado y los riñones. Sin embargo el episodio de

hipotensión puede causar, en el momento de sufrirlo, la muerte ya que no llega sangre al cerebro y también puede afectar al sistema nervioso central y a las arterias periféricas (Pérez, s.f.).

3.2. La detección de los episodios de hipotensión

Una vez visto que es un episodio de hipotensión, sus principales características y las diferencias con otras enfermedades relacionadas con la presión arterial, se va a proceder a explicar los sistemas que existen para detectar los episodios, ya sea empleando la tecnología o no, y las pruebas que se pueden llevar a cabo para revelar la dolencia.

3.2.1. Sistema tradicional

Bajo el nombre de sistema tradicional (nombrado así con el fin de separarlo de aquellas que requieren del uso de tecnología compleja, concretamente software) se engloban métodos como la realización de un cuestionario o la realización de controles preventivos.

En el primer caso, el médico pregunta al paciente sobre las dolencias que padece y llega, a través de las respuestas recibidas, a la conclusión de si es o no un episodio. Para ello se plantean una serie de cuestiones rutinarias, como, por ejemplo: ¿Cuándo suceden los síntomas? ¿Con qué frecuencia aparecen?, ¿Cómo son de intensos? Además de preguntar al paciente, en caso de sospechar que pueda estar sufriendo un episodio, el médico puede realizar una serie de pruebas que van desde un análisis de sangre, un encefalograma hasta una prueba denominada “el test de la mesa basculante” (véase Ilustración 3).

Esta última prueba consiste en tumbar al paciente durante un tiempo en una camilla, boca arriba, con una serie de sensores que serán los encargados de medir la presión arterial. Pasado el tiempo el doctor levanta la mesa, primero 30° y luego en 60°, el paciente estará en esas posiciones 5 y 45 minutos respectivamente. Mientras se realiza la prueba, se monitoriza las constantes del paciente para detectar si el cuerpo es capaz de regular la presión arterial (Saceda Corralo, 2018).

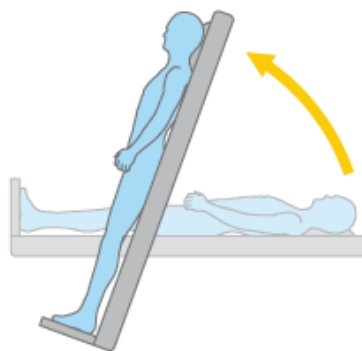


Ilustración 3: Test de la mesa basculante

Junto a este sistema se puede emplear otro como el monitoreo del paciente durante su ingreso en el hospital. La frecuencia de dicho monitoreo depende del estado en el que se encuentre el paciente, así, si está grave entonces se realiza el control cada 4 horas. Sin embargo, si el estado no es grave o no implica un peligro para la vida del paciente, el monitoreo se realiza cada 8 horas.

3.2.2. Sistemas experimentales

Bajo este nombre se encuentran englobados todos aquellos sistemas que hacen uso de una tecnología avanzada para detectar los episodios de hipotensión. Cabe destacar que algunas de las aplicaciones que se van a explicar

a continuación no se están empleando en la actualidad ya que necesitan realizar más pruebas.

3.2.2.1. Detección durante la operación

Este software fue desarrollado en una colaboración entre distintos departamentos de varias universidades, como es el caso del departamento de anestesiología, el de computación y el de biomedicina de la Universidad de California, Irvine y el departamento de anestesiología de la Universidad de los Ángeles (véase Ilustración 4).



Ilustración 4: Universidades de California y la de los Ángeles

El software, que está disponible comercialmente desde 2016 en Europa, se encarga de extraer de cada latido del corazón 3.022 características únicas de la onda generada por la presión arterial y mediante un algoritmo de aprendizaje automático, es capaz de detectar si un paciente va a sufrir o no un episodio.

Para llevar a cabo el proyecto, se emplearon dos dataset distintos. El primero de ellos compuesto por 1.334 registros y un total de 545.959 minutos de registro de la onda de la presión arterial que se empleó para llevar a cabo el entrenamiento y el segundo de los dataset que contenía 204 registros se usó para realizar las pruebas finales de la aplicación. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: en el 84% de los casos se pudo identificar correctamente que el paciente iba a sufrir un episodio 15 minutos antes de que le pasase, en el 48%

se pudo identificar 10 minutos antes y en el 87% se pudo detectar 5 minutos antes.

Esta aplicación es de gran utilidad ya que permite a los doctores ser proactivos en lugar de reactivos, es decir, actuar antes de que pase, en vez de hacerlo una vez ya ha pasado y por lo tanto, puedan surgir complicaciones graves durante la operación (American Society of Anesthesiologists, 2018).

3.2.2.2. Predicción empleando modelos ocultos de Markov

Otro de los sistemas de predicción que se han llevado a cabo es el que se desarrolló en la Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia, en el cual hacen uso de los modelos ocultos de Markov.

Los modelos ocultos de Markov son máquinas de estado para procesar información que tenga un conjunto de estados, un estado inicial y un conjunto de datos finito. Concretamente, en este caso, se usaron 4 estados y los datos de entrada estaban compuestos por la presión sanguínea de 60 pacientes.

El resultado obtenido en la aplicación fue del 90% de aciertos (Evin, Hadad, Martina, & Drozdowicz, 2011).

3.3. Tecnologías empleadas

En este apartado se trata las tecnologías que han sido empleadas para llevar a cabo el proyecto junto con una breve introducción histórica y una explicación atendiendo a su relevancia en la realización del proyecto (véase Ilustración 5).



Ilustración 5: Tecnologías empleadas

3.3.1. HTML

HTML es un lenguaje de marcas, es decir, consta de texto, que define los contenidos reales de la página web, y de marcas especiales (también conocidas como etiquetas) que permiten dar “significado” al texto o contenido, así como indicar algún tratamiento especial sobre dicho texto.

La idea básica de los lenguajes de marcado es estructurar el contenido mediante dichas marcas o etiquetas, a cada una de estas etiquetas se pueden asociar varios atributos. De este modo, se pueden especificar características de formato y el tipo de información para que puedan ser procesadas por el navegador.

HTML nació en 1991, en un documento publicado por Tim Berners-Lee, creador de otros protocolos como es el caso de HTTP. Al principio el lenguaje contaba con 22 etiquetas que mostraban un diseño inicial y relativamente simple de HTML; sin embargo, este lenguaje se ha ido enriqueciendo con el paso de los años y la llegada de nuevas versiones que han incorporado etiquetas no contempladas en versiones anteriores.

El primer estándar publicado de este lenguaje fue en 1995 bajo la denominación de HTML 2.0. Con el paso de los años se ha ido sacando a la luz

nuevas versiones tales como HTML 3.2, que fue la primera versión de HTML que publicó la W3C, o HTML 4.0. La última disponible es HTML5, estandarizada por la W3C en 2014 (Pino Reyes, s.f.). Las interfaces ofrecidas por la aplicación han sido elaboradas con esta última versión.

3.3.2. CSS

CSS (Cascading Style Sheets) es un lenguaje que se emplea para modificar la apariencia que tiene un documento. Este suele ser un fichero que contiene un lenguaje de marcado, el más común es el HTML, aunque también se usa con ficheros XML o SVG.

Al igual que en el caso anterior, el navegador es el encargado de interpretar el fichero y, así, mostrárselo al usuario.

Para modificar la apariencia se emplean una serie de reglas CSS. Estas reglas están compuestas por dos partes: la primera de ellas se refiere a las propiedades que se emplean para modificar la presentación del contenido de la página y la otra parte que compone las reglas son los selectores que se emplean para establecer el elemento que se desea modificar (MDN Web Docs, 2018).

Este lenguaje surgió a principios de 1995 de la mano de Håkon Wium Lie y Bert Bos tras observar la necesidad de aplicar un estilo a los documentos electrónicos. Este mismo año el W3C llevó a cabo la estandarización de CSS publicando a finales de 1996 el primer estándar y denominándolo CSS nivel 1.

Con el paso de los años se crearon nuevas versiones del estándar, como es el caso de CSS nivel 2 o CSS nivel 3. Se ha empleado este último estándar para desarrollar la aplicación.

3.3.3. Bootstrap

Bootstrap es una biblioteca de código abierto, concretamente bajo licencia MIT¹, que permite crear páginas web más fácilmente con una interfaz simple, intuitiva y personalizable.

Esta herramienta permite introducir elementos tales como botones, campos de texto o formularios ya creados de forma sencilla. Además, estas funcionalidades vienen acompañadas por sus respectivas librerías de JavaScript y de CSS, aunque también se puede modificar el comportamiento fácilmente. Por todo esto, Bootstrap es una librería de gran utilidad que permite diseñar e implementar una página de una forma sencilla (Guevara Benites, s.f.).

Esta librería cuenta con una funcionalidad muy interesante y es que hace que las vistas sean *responsive*, es decir, se pueden adaptar a cualquier dispositivo independientemente del tamaño de la pantalla del mismo. Esto lo hace gracias a la división que hace de la pantalla en un “grid” de 12 segmentos que se emplean para especificar cuantas subdivisiones va a ocupar en función del tamaño de la pantalla.

Esta librería fue originalmente diseñada e implementada por el equipo de Twitter como una solución interna, pero más adelante fue liberada para su uso público.

¹ MIT: Es un tipo de licencia de software creado por el instituto tecnológico de Massachusetts. Puede ser empleada para licenciar software tanto de libre como aquel que no es libre

3.3.4. JQuery

JQuery es una librería de JavaScript, liberada en 2016, que permite implementar una gran cantidad de acciones en pocas líneas. Sin embargo, estas acciones en caso de que fuese a través de JavaScript implicarían tener un conocimiento mayor y sería mucho más complicado de hacer (jQuery, s.f.).

Haciendo uso de esta librería se puede conseguir que la página web sea más dinámica, ya que permite modificar la apariencia de los elementos de DOM, es decir, modificar el CSS. Además, se puede añadir animaciones para hacer que aparezcan o desaparezcan elementos y, también, realizar llamadas AJAX a los servicios para que devuelvan algún tipo de información y, posteriormente, mostrarlo por pantalla.

Esta librería ha sido de gran importancia ya que, gracias a ella, se ha podido hacer que la página cambie la información sobre los pacientes ya sea la edad, el sexo o, incluso, que muestre si el paciente va a sufrir un episodio.

3.3.5. JSON

JSON (JavaScript Notation Object) es un formato muy ligero que se emplea para llevar a cabo el intercambio de datos entre la web y el servicio de una forma muy sencilla y empleando cualquier lenguaje de programación (JSON, s.f.).

Los datos que se transfieren usando este formato están compuestos por un par clave/valor separados los distintos pares por “,” y la clave se separa de aquel haciendo uso de los “:”, facilitando así la lectura de la información que se desea intercambiar.

JSON surgió en el 2000 para sustituir el XML como formato de intercambio de los datos, ya que era el empleado hasta ese momento. Con el paso de los

años, se empezó a usar más y no fue hasta 2013 cuando se publicó el primer estándar de este formato bajo el nombre de “Standard ECMA-404 The JSON Data Interchange Format”.

Este formato ha sido de gran utilidad pues, además de poder llamar al servicio para obtener información, permite establecer el comportamiento que debe tener la aplicación antes de llamar al servicio, después o, en caso de que se produzca algún error, y se puede definir una función que se ejecutará independientemente se produzca un error o no.

3.3.6. Python

Python es un lenguaje interpretado, es decir, el código se interpreta y se detectan los errores en tiempo de ejecución. Este tipo de lenguajes tiene una serie de beneficios, como por ejemplo, su capacidad para maximizar la eficiencia de los programas o la rapidez que permite a la hora de desarrollar y, además, es gratuito (Universia, 2017).

Este lenguaje de programación se implementa en una gran variedad de sistemas operativos, esto quiere decir que no solo se puede emplear para el desarrollo de sitios web, sino que también es válido para la implementación de una gran variedad de aplicaciones para múltiples sistemas.

Python fue creado por el europeo Guido Van Rossum hace 30 años con el objetivo de crear un lenguaje que estuviese orientado a objetos y que fuese fácil de usar y con una gran utilidad. El 20 de febrero de 1991 salió a la luz la primera versión de este lenguaje conocida como Python 0.9, con el paso de los años este fue evolucionando y sacando nuevas versiones del mismo, por ejemplo, el 16 de octubre del 2000 se publicó Python 2.0 o el 3 de junio del 2010 que salió Python 2.7, que es la versión que se ha empleado para desarrollar este proyecto (Van Rossum, 2009).

Este lenguaje ha sido de gran utilidad para desarrollar el trabajo, pues permite llevar a cabo acciones muy complejas con unas pocas líneas de código y cuenta con una gran cantidad de bibliotecas que facilitan el desarrollo, tales como las bibliotecas encargadas de leer los CSV, o para poder ejecutar los distintos hilos que componen la aplicación. Además, la sintaxis que se emplea es clara y fácil de entender y emplea las tabulaciones para indicar a que parte de cada de las funciones pertenece la línea de código haciendo, de esta forma, que no se tenga que depender de corchetes.

3.3.7. Django

Django es un framework empleado para el desarrollo de aplicaciones web que hacen uso de Python. Este sistema se encarga de todo lo más tedioso del desarrollo de una aplicación y el programador solo se tiene que encargar de la funcionalidad de la aplicación. Este software es gratuito, de código abierto y cuenta con una gran comunidad muy activa para la resolución de problemas y dudas.

El software generado haciendo uso de esta aplicación es completo, ya que una vez se ha descargado e instalado el software solo queda desarrollar la aplicación y no hay que preocuparse por instalar software adicional para hacer funcionar el framework. Además, gracias a la gran versatilidad de este sistema se pueden llevar a cabo todo tipo aplicaciones web que pueden ir desde una wiki, en la que se cuelga información, hasta una red social y puede devolver el contenido en cualquier formato. Las aplicaciones que se crean son seguras ya que facilita la gestión de las cuentas de los usuarios, ya sea por la contraseñas, en cuyo caso las almacena en un *hash* de contraseñas, o los datos de la sesión, que almacena en una base de datos, evitando así almacenar la información en

las cookies del usuario. Gracias a que está implementado en Python, Django es portable y, por lo tanto, se puede ejecutar en cualquier entorno.

Las aplicaciones implementadas en Django siguen el esquema que se muestra a continuación (véase Ilustración 6):

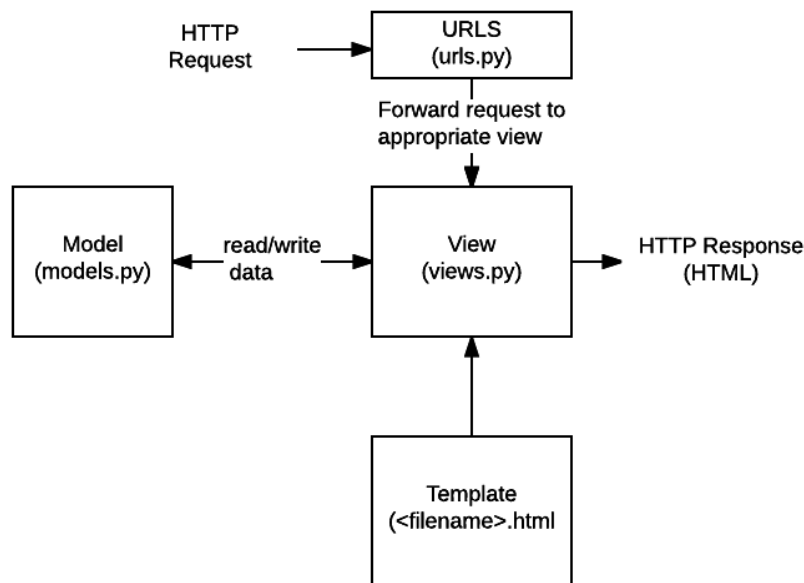


Ilustración 6: Estructura de Django / Fuente: developer.mozilla.org

En el esquema se puede apreciar los siguientes elementos:

- URLs: este fichero se emplea para mapear las llamadas que se pueden hacer desde JavaScript o para redirigir la vista basándose en la URL que se ha introducido.
- Views: este fichero es el encargado de recibir las llamadas HTTP y devolver la información que sea necesaria obtenida de los modelos.
- Models: el objetivo de este fichero es procesar la información que llega desde la aplicación web y que el fichero de Views ha pasado a través de la llamada a la función. Una vez se ha procesado la

información, este fichero genera la respuesta que más adelante se envía a las plantillas para que se genere la vista.

- **Templates:** es la encargada de generar dinámicamente una vista HTML aunque puede ser usada en otro tipo de fichero como un XML (MDN Web Docs, 2018).

3.3.8. HighCharts

HighCharts es una biblioteca que se emplea para la construcción de gráficos a través de JavaScript. Para ello, hace uso de la información que le pasa el usuario. Con el fin de llevar este traspaso de información se puede emplear JSON, CSV o XML.

Con esta biblioteca se pueden generar gráficos de múltiples estilos, por ejemplo de columnas, de barras, de pasteles o, incluso, mostrar información sobre un mapa de un país, independientemente del navegador que se esté empleando gracias a su uso de JavaScript (Álvarez, 2015).

Para mostrar la presión sanguínea de un paciente se han usado los gráficos obtenidos de la biblioteca mencionada, por lo que esta herramienta ha sido clave para el desarrollo de la aplicación.

A continuación se muestra un ejemplo de gráfico generado con esta herramienta (véase Ilustración 7) y el JSON que se tiene que emplear para mostrarlo (véase Ilustración 8).

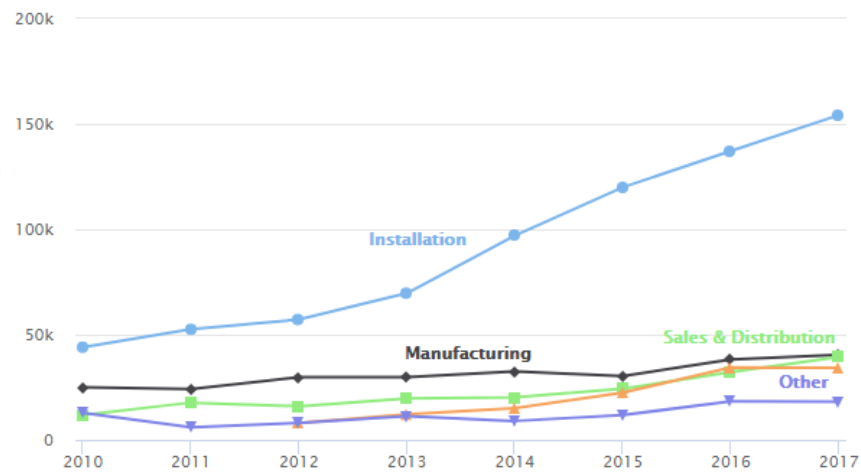


Ilustración 7: Ejemplo de gráfico | Fuente: HighCharts

```
Highcharts.chart('container', {
  title: {
    text: 'Solar Employment Growth by Sector, 2010-2016'
  },
  yAxis: {
    title: {
      text: 'Number of Employees'
    }
  },
  series: [{
    name: 'Installation',
    data: [43934, 52503, 57177, 69658, 97031, 119931, 137133, 154175]
  }, {
    name: 'Manufacturing',
    data: [24916, 24064, 29742, 29851, 32490, 30282, 38121, 40434]
  }, {
    name: 'Sales & Distribution',
    data: [11744, 17722, 16005, 19771, 20185, 24377, 32147, 39387]
  }, {
    name: 'Project Development',
    data: [null, null, 7988, 12169, 15112, 22452, 34400, 34227]
  }, {
    name: 'Other',
    data: [12908, 5948, 8105, 11248, 8989, 11816, 18274, 18111]
  }
]
});
```

Ilustración 8: JSON empleado para el gráfico

Capítulo 4

Arquitectura de la Aplicación

Una vez estudiado qué es un episodio de hipotensión y las tecnologías que se han empleado para llevar a cabo la aplicación, se procede a explicar cuál ha sido el patrón de la arquitectura que se ha empleado en el desarrollo de la misma, que en este caso ha sido el patrón MVC al ser el que usa Django.

Además, especifican las características de las redes neuronales, centrándose en el sistema de predicción que se ha empleado en la aplicación.

4.1. MVC

MVC responde a las siglas de Modelo – Vista – Controlador. Es un patrón que se encarga de separar el manejo de datos de la lógica del negocio añadiendo así más seguridad a la aplicación. El empleo de este patrón en el desarrollo de la aplicación junto con el método de trabajo escogido, explicado anteriormente, ha hecho que la reutilización de código sea más sencilla.

Las tres partes que anteriormente se han mencionado (Modelo, Vista, Controlador) se van a explicar a continuación (véase Ilustración 9):

- Modelo: esta capa es la encargada de la representación de los datos, es decir, no son los datos tal cual de la aplicación, sino que son una interfaz de acceso a los mismos y permite llevar a cabo la extracción de estos sin necesidad de conocer cómo está implementada la base de datos pudiendo trabajar simultáneamente con varias bases de datos. No solo se encarga de la extracción de la información, también se ocupa de la actualización de los mismos. Otra de las funcionalidades de esta capa es la de llevar a cabo el control del acceso de los usuarios según los privilegios que se les haya establecido.
- Controlador: esta parte de la arquitectura es la encargada de controlar el flujo que se produce entre la vista y el modelo. Mediante la lógica que ha introducido el usuario el controlador debe decidir qué información se pasa a la vista, que se debe modificar a través del modelo y se pasa al modelo que provenga de la vista para que trabaje con eso, por lo tanto, esta capa es la que implementa la lógica del negocio. Se puede concluir que el modelo es un intermediario entre la vista y el controlador.
- Vista: esta capa es la encargada de mostrar la información devuelta por el modelo, todo ello formateado de una forma adecuada para que el usuario pueda interactuar con la aplicación.

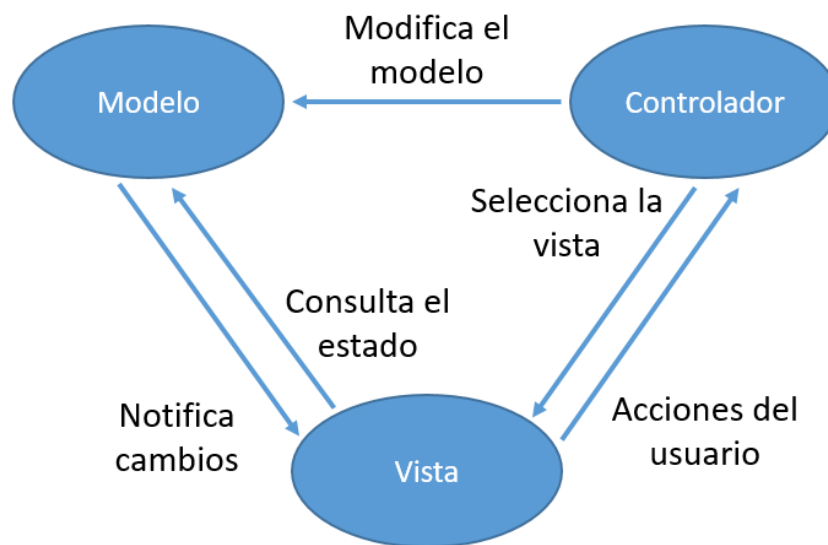


Ilustración 9: Arquitectura MVC

Cabe destacar que para llevar a cabo este patrón de diseño se ha empleado Django ya que su estructura sigue este sistema, pero con una pequeña variación: en lugar de presentar la estructura “modelo – vista – controlador” es “model – template – view” y aunque los nombres son distintos, la funcionalidad es la misma, mientras que en MVC se llama “vista” aquí es “template” y lo que se denomina “controlador” en este caso es “view”. “Template” es el encargado de generar la vista para el usuario y “view” es el encargado de acceder al modelo y redirigir a la que corresponda (The Django Book, s.f.).

Por esto se dice que Django sigue un patrón MTV, esto se ve claramente en la Ilustración 6 con los nombres que reciben los ficheros y las relaciones que existen entre ellos.

4.2. Redes neuronales

Una red neuronal es un conjunto de neuronas artificiales o nodos que tiene un comportamiento similar al del cerebro humano, aunque más lento. Cada una de estas neuronas está conectada con otras muchas, que a su vez lo están con otras.

4.2.1. Características

En este apartado se explican las distintas características que presentan las redes neuronales, atendiendo a su topología, las fases y tipos de aprendizaje.

4.2.1.1. Topología

La topología de una red neuronal hace referencia a cómo está organizada dicha red, es decir, el número de capas, el número de neuronas que existe en cada una, el grado de conectividad y el tipo de conexión que hay entre ellas.

A la hora de distinguir las redes neuronales se suele emplear el término monocapa y multicapa. El primero de ellos hace referencia a que dispone de una capa de entrada y otra de salida; El segundo, las redes multicapa, indica que las neuronas están agrupadas por capas, estas son la de entrada, la de salida y las capas intermedias o capas ocultas. La comunicación entre estas se puede dar exclusivamente hacia delante, en caso de que sean redes multicapas, aunque también puede haber comunicación hacia atrás en caso de que sean multicapa recurrente.

A continuación se muestra una imagen para aclarar lo que se acaba de explicar (véase Ilustración 10). Siguiendo el esquema, en las redes monocapa, los rectángulos azules son las entradas y los círculos verdes son las salidas. En el

caso de las multicapa los rectángulos siguen siendo entradas, pero los círculos verdes son capas intermedias y el circular naranja es el de salida. En las redes multicapa recurrente solo habría una capa de círculos verdes, en lugar de más de uno, como se muestra en la imagen, pero las flechas podrían ir hacia adelante o hacia atrás

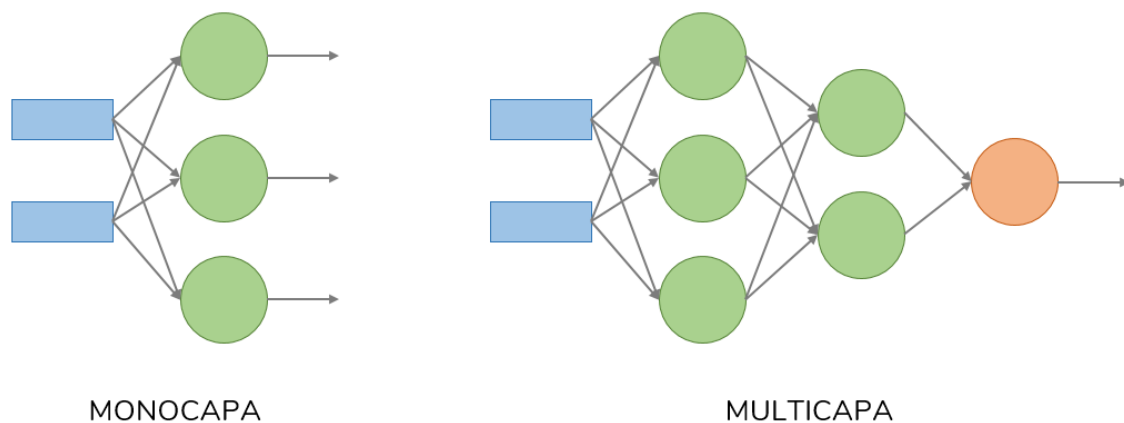


Ilustración 10: Topología de las redes neuronales / Elaboración propia

4.2.1.2. Fases del aprendizaje

Las redes neuronales pasan por dos fases, entrenamiento y de pruebas, que se van a explicar a continuación.

Durante la primera de ellas, la de entrenamiento, la red ajusta de forma automática los pesos que se emplearán para predecir. Esta fase se lleva a cabo de forma iterativa para así poder minimizar el fallo que se produce entre la entrada y la salida de la predicción.

La otra parte, la fase de pruebas, evita el sobreajuste, es decir, que los pesos que se otorgan se ajusten tanto que solo funcione para los datos que se emplean durante las pruebas.

El aprendizaje o entrenamiento se pueden llevar a cabo de dos formas que se detallan en el siguiente apartado.

4.2.1.3. Tipos de aprendizaje

Una vez se han visto las dos fases del aprendizaje por las que pasan las redes neuronales, se procede a explicar los dos tipos de aprendizaje que se emplean.

El primero de ellos es el entrenamiento supervisado, en el que cuando se está llevando el entrenamiento de la red los datos que se introducen cuentan con los resultados de la predicción, por lo que se dice que cuenta con un “maestro”.

El otro tipo de aprendizaje que se puede dar es el “no supervisado” en el que los datos de entrada en el entrenamiento no contienen los resultados, por lo que se dice que no cuenta con un “maestro”.

4.2.2. Perceptron

Perceptron es un tipo de red neural simple que fue creada por Frank Rosenblatt en 1957. Este sistema de predicción admite varias entradas y genera una salida binaria, es decir, 1 o 0. Para ello, se lleva a cabo el sumatorio de los valores por los pesos que se le ha dado a las entradas en el entrenamiento y en caso de que el valor sea mayor que 0 devuelve 1 y si no devuelve 0.

A continuación se adjunta la fórmula y un ejemplo de cómo se comporta el predictor (véase Ilustración 11).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } w * x + b > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

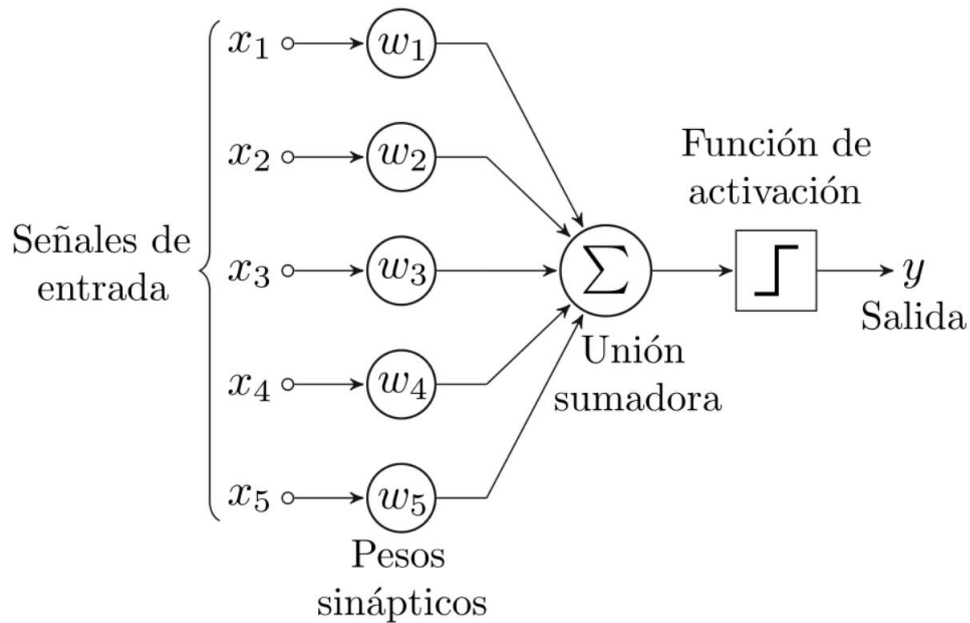


Ilustración 11: Comportamiento de Perceptron

Se han llevado a cabo pruebas con este sistema y se han obtenido distintos resultados, estas pruebas se han realizado varias veces con todos los pacientes de la aplicación. A continuación se explican las pruebas que se han realizado y los resultados obtenidos:

En primer lugar destacar que la predicción se probó con la presión sistólica y la diastólica, en este caso se obtuvieron resultados de un 65% de acierto, en caso de emplear estas dos últimas y la media de estas dos presiones, el porcentaje de aciertos se redujo al 60%, por lo que esta opción no era la más adecuada. A continuación se probó añadiendo a estas tres anteriores la concentración de oxígeno en sangre lo cual mantuvo el porcentaje de aciertos al 60% pero si se pone solo la concentración de oxígeno en sangre del paciente aumenta hasta el 71% de aciertos, esto se debe a que no se cuenta con una gran cantidad de pacientes para entrenar el sistema, concretamente 60. Por esto se

decidió emplear el SPO_2 para predecir los episodios. Lo que si se mantuvo constante en todos los casos fue el tiempo empleado en la predicción que fue de 10 minutos por paciente a predecir.

Capítulo 5

Estructura de la información

Con el fin de realizar las pruebas necesarias para comprobar la viabilidad y eficacia de Hipotens se recurrió a PhysioNet, la página de la cual se ha extraído el dataset con la información referida a los pacientes. Se explicará en este apartado de forma detallada las tres plataformas con las que cuenta para la extracción de datos y el estándar médico que se emplea para codificar las enfermedades.

Además, se exponen detalladamente cada uno de los ficheros empleados a la hora de mostrar la información y predecir el posible episodio de hipotensión.

5.1. PhysioNet

PhysioNet es una plataforma gratuita que contiene una gran colección de señales fisiológicas y cuenta con el respaldo del Instituto Nacional de Ciencias Médicas Generales (NIGMS) y el Instituto Nacional de Imágenes Biomédicas y Bioingeniería (NIBIB) (véase Ilustración 12). Esta plataforma está compuesta por 3 sub-plataformas más de las que se habla a continuación.

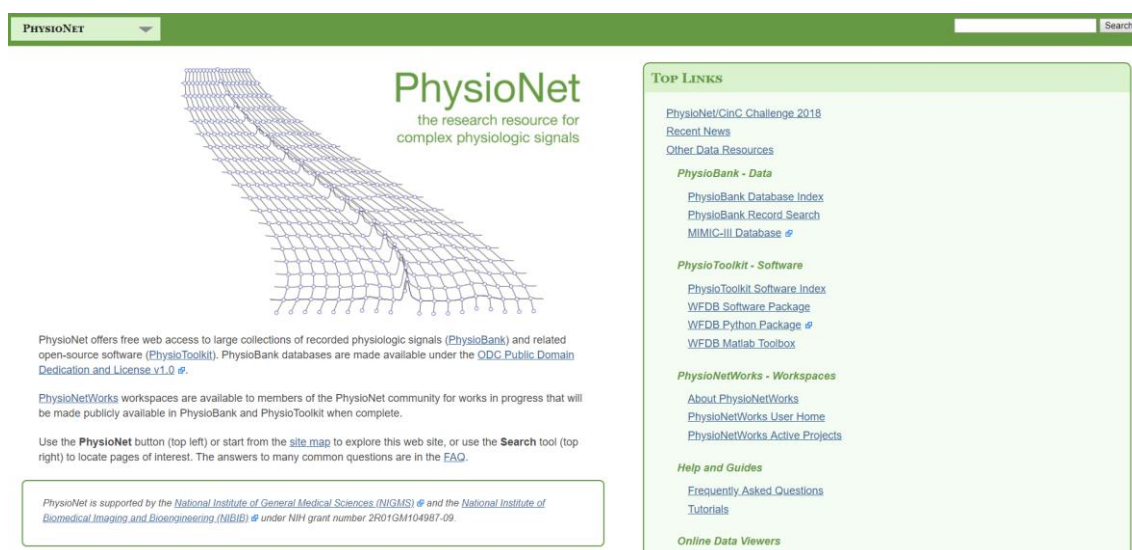


Ilustración 12: PhysioNet

La primera de ellas recibe el nombre de **PhysioBank** que contiene una gran cantidad de datasets sobre señales fisiológicas que se emplean en el estudio de la biomedicina. Estas señales pueden ser de una gran variedad, entre las que se encuentran las cardiopulmonares o neuronales, y engloban información tanto de pacientes sanos como de aquellos que padecen alguna enfermedad de todo tipo e incluso que puedan suponer la muerte súbita del paciente. Esta plataforma está compuesta por 75 bases de datos que son de libre descarga extrayéndose de este sistema los datasets para el desarrollo del proyecto.

La siguiente sub-plataformas es la de **PhysioToolkit**, una biblioteca de software que se emplea para llevar a cabo el procesamiento de las señales y, así, poder detectar eventos. Todas las aplicaciones disponibles en este repositorio tienen en común su empleo para la extracción de información de señales biomédicas mediante el empleo tanto de técnicas clásicas como de las más novedosas. Todo el software que está disponible a través de esta plataforma está bajo una licencia GPL.

El último sub-apartado existente en PhysioNet es el de **PhysioNetWorks** que son espacios de trabajo para que los usuarios puedan desarrollar

aplicaciones que más adelante estarán disponibles en el PhysioToolkit. Los espacios de trabajo que se emplean en este entorno están protegidos por una contraseña.

Es importante destacar que un usuario que es desarrollador de una aplicación en este entorno es el propietario de dicha aplicación. En caso de que lo desee podrá poner su aplicación a disposición de todos los usuarios de PhysioNetWorks o solamente con algunos de ellos (véase Ilustración 13). Independientemente de que lo abra a todos los usuarios o solo a algunos, podrá otorgarles dos permisos distintos, el de lectura/escritura o solo de lectura. En función de los permisos que reciban los usuarios se les conocerá de una forma o de otra, en caso de que puedan editar y leer se les llama colaboradores y en caso de que solo puedan leer se les conoce como revisores (PhysioNet, s.f.).

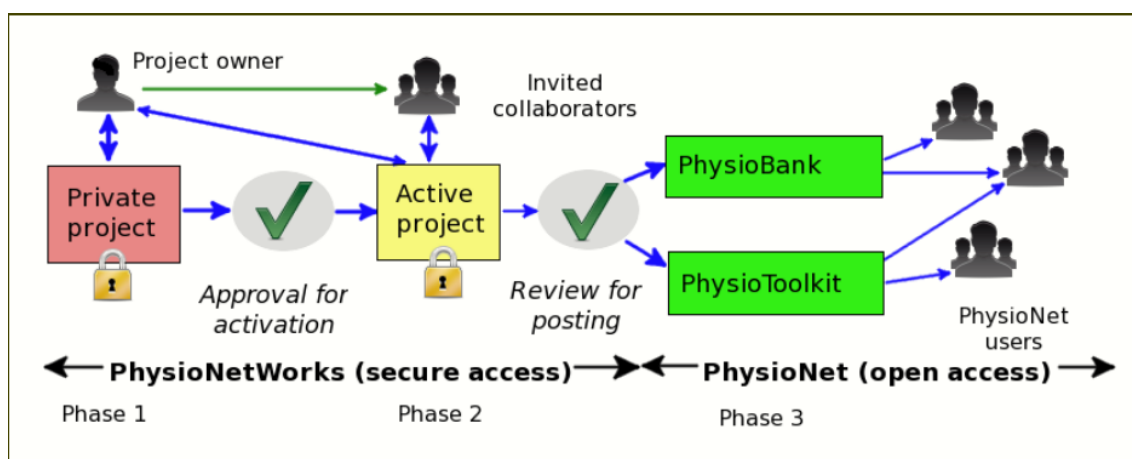


Ilustración 13: PhysioNetWorks / Fuente: PhysioNet

5.2. Estructura de los datos

Analizada la página de la que se han extraído los datos, se trata ahora la estructura de aquellos que se han empleado en el predictor. Cabe destacar que no solo se han utilizado los ficheros que se pueden descargar desde la plataforma, sino que también se han creado ficheros de forma manual con determinados datos de los pacientes como es el caso del sexo, la edad o de si

sufre o no un episodio de hipotensión. También, ha sido necesaria la descarga de archivos de otras fuentes para poder interpretar algunos de los datos que se han obtenido.

Se comenzará hablando sobre aquellos ficheros que se pueden descargar desde el repositorio de datos que se ha mencionado anteriormente. Al final de cada uno de los ficheros se muestra un enlace desde el que se pueden descargar.

Ficheros CSV: en estos ficheros se encuentran las señales que se han recopilado de cada uno de los pacientes cada minuto que han estado ingresados. A continuación se explica cada uno de los campos que componen el conjunto de los datos.

- Timestamp: es la primera columna que compone el fichero y corresponde con la fecha de ingreso y las distintas horas a las que se tomaron los datos.
- HR: contiene los datos del ritmo cardiaco del paciente, este valor está expresado en latidos por minuto.
- ABPSys: este campo incluye la presión sistólica del paciente, es decir, la presión máxima que alcanza durante el movimiento de contracción del corazón, también recibe el nombre de sístole.
- ABPDias: representa la presión diastólica del corazón que, como ya se explicó en el apartado 3.1.1 del capítulo 3, es la presión mínima que se da en las arterias del paciente cuando el corazón se relaja y se expande y como en el caso anterior se emplean los MmHg como unidad de medida.
- SpO₂: este campo representa la saturación de oxígeno en sangre, es decir, la cantidad de oxígeno que está disponible en la sangre y se mide usando porcentajes.

- Class: indica si en ese momento se está padeciendo o no el episodio de hipotensión, si hay una C significa que no lo está padeciendo y si hay una H quiere decir que lo está sufriendo.

Este dataset puede ser descargado desde el enlace que se muestra a continuación: <https://physionet.org/pn5/mimic2db/> aunque para descargarlo se ha empleado un código proporcionado por José Luis Jorro Aragoneses.

Otro de los ficheros que componen el dataset está en formato “.txt”, está disponible dentro de cualquiera de los pacientes, es un archivo que contiene el historial médico del paciente, es decir, muestra todas las enfermedades que sufría o ha sufrido durante su ingreso hospitalario y el tratamiento que ha recibido para dichas enfermedades. En la Ilustración 14 se muestra un ejemplo del fichero.

```
[00:00:00 31/05/2011]   ic  dd=25000    ds=8    ld=DIABETES MELLITUS W/OUT  
[00:00:00 31/05/2011]   ic  dd=27801    ds=9    ld=MORBID OBESITY
```

Ilustración 14: Ejemplo fichero ".txt"

El ejemplo que se muestra encima de estas líneas es una de las entradas que conforman este fichero. La línea comienza con la fecha y la hora en la que se descubrió la enfermedad, la siguiente parte “ic” quiere decir que la enfermedad viene codificada en el formato ICD9. A continuación de la abreviatura se muestra las letras de la codificación “dd”, empleada para referirse a la enfermedad, codificada en ICD9, que sufre el paciente. En este caso, en la primera línea de la Ilustración 14, se muestra 25000, lo que quiere decir que la enfermedad es la 250.00, siempre se muestra a la izquierda del punto 3 dígitos y a la derecha puede aparecer 1 o 2, depende de la enfermedad. Por último, “ld” es la representación textual, en inglés, de la enfermedad que sufre el paciente.

Los ficheros pueden ser descargados a través del enlace <https://physionet.org/physiobank/database/mimic2cdb-ps/>, de forma manual, uno a uno, por lo que en este caso no se dispone de un código para facilitar su descarga.

Una vez se han terminado de explicar todos los ficheros que se pueden descargar de la página de PhysioNet, se procederá a explicar el fichero que se ha creado manualmente con la información de la página web. Este fichero se ha denominado como “datosGenerales.csv”, es el encargado de almacenar toda la información más genérica de los pacientes.

El fichero está compuesto por 4 columnas: la primera de ella es la del identificador único del paciente, la segunda es el sexo, que viene representado con una “M” en caso de que sea hombre y una “F” en caso de que sea mujer, la tercera columna del fichero es la edad del paciente, que va desde los 22 años hasta los 89, en caso de que el paciente tenga 90 años o más se representa con un “90+” y la última columna indica si el paciente sufrió o no un episodio de hipotensión, en caso de que lo sufriese se muestra un 1 y un 0 en caso contrario.

El cuarto fichero que se ha empleado para la extracción de la información ha sido el “CIE9MC.csv. Este contiene la equivalencia de los códigos de las enfermedades, obtenido en el fichero “datosGenerales.csv”, con sus nombres en español para que así se pueda mostrar en la aplicación.

Este fichero puede ser obtenido a través del siguiente enlace: http://www.cie9.com/Descargar_la_CIE9.html. Cabe destacar que en esta página no solo está el formato CSV sino que hay más como por ejemplo SQL.

5.3. CIE-9-MC

CIE-9-MC responde al acrónimo de Clasificación Internacional de Enfermedades, Novena Revisión, Modificación Clínica. Se trata de un sistema

cuyo objetivo principal es el de clasificar las enfermedades, afecciones y causas de las mismas. También cuenta con una lista de los tratamientos que se dan a los pacientes para cada una de las enfermedades.

Esta versión se estableció en 1975 en la conferencia de la Organización Mundial de la Salud, estuvo en uso hasta el 2008 cuando se publicó la versión ICD-10-CM.

Ha sido necesario el uso de esta versión ya que las enfermedades de los pacientes que vienen en los ficheros “.txt” vienen codificadas siguiendo este estándar tal y como se muestra en el apartado “5.2 Estructura de los datos” de este mismo capítulo.

Capítulo 6

Hipotens

Todo lo visto anteriormente, ha servido para sentar las bases de Hipotens, una aplicación con la que predecir episodios de hipotensión aguda. A continuación, se van a comentar cada una de las vistas que componen la aplicación. Para ello se hará de dos formas, primero se habla del comportamiento genérico de la vista, es decir, se explica qué es lo que se puede hacer y posteriormente se detalla cuál es la utilidad de cada uno de los apartados dentro de la vista.

Para facilitar la explicación se han introducido capturas de pantalla de la aplicación.


6.1. Página principal

La primera vista que se carga al lanzar la aplicación es la que se muestra en la Ilustración 15. En ella se presentan dos partes claramente diferenciadas:

La primera, es la cabecera en la que el usuario puede seleccionar a qué parte de la aplicación se desea mover, “Hipotens”, que se utiliza para llevar a cabo la predicción, “Pacientes similares”, que se emplea para mostrar enfermos con características similares al que es objeto de estudio en función de unos parámetros que se especifican en esa misma vista. Por último, se puede emplear la pestaña de “Histórico” para ver la lista de pacientes que han sufrido o no un episodio de hipotensión. Todo ello clasificado por año y por paciente.

La segunda parte de la aplicación es en la encargada de mostrar el contenido que varía en función de la pestaña que se haya seleccionado. Los siguientes apartados se van a centrar en explicar detalladamente cada uno de ellos.

A continuación se muestra una vista de la pantalla principal de la aplicación con las dos partes anteriormente mencionadas, con los bordes en verde la cabecera y en naranja la parte encargada de mostrar el contenido.



The screenshot displays the main interface of the application. At the top, there is a blue header bar with three tabs: "HIPOTENS", "Pacientes similares", and "Histórico". Below the header, the main content area is outlined with an orange border. On the left side of this area, there is a large pink female icon. Below the icon is a grey button labeled "Predecir". To the right of the icon, there are four sections, each with a blue title and a corresponding input field or button:

- Sexo**: Two buttons, "Hombre" and "Mujer", are displayed side-by-side.
- Identificación del paciente**: A text input field with the placeholder text "Seleccione un paciente".
- Fecha de ingreso**: A text input field.
- Edad del paciente**: A text input field.

Ilustración 15: Página principal

6.2. Selección del usuario

La imagen que se muestra a continuación, la Ilustración 16, es la que se utiliza para seleccionar al paciente del cual se quiere predecir la posibilidad de que padezca un episodio de hipotensión. Para ello, se comienza escribiendo el código del usuario y muestra un desplegable, tras seleccionarlo se empiezan a cargar todos los datos del paciente.



Sexo

Hombre Mujer

Identificación del paciente

Seleccione un paciente

Fecha de ingreso

Edad del paciente

Predecir

Ilustración 16: Selección del paciente

Una vez se ha terminado la carga de los datos, se muestra en la pantalla una vista como la que figura en la Ilustración 17, la cual se puede dividir en 3 partes. La primera de ellas es una repetición de la Ilustración 16 pero, en este caso, ya completada con toda la información del paciente, es decir, su número de identificación, su edad, su fecha de ingreso y su sexo; este último, se refleja en dos maneras diferentes, la primera de ellas es la imagen, que cambia según sea hombre o mujer, y la segunda en la barra superior la cual marca en color azul el sexo del paciente. En las otras dos partes de la vista se detallan las enfermedades

que se le han detectado y la gráfica de la concentración de oxígeno en sangre del paciente.



Ilustración 17: Carga de los datos del paciente

En la Ilustración 18, se muestra detalladamente el cuadro de las enfermedades del paciente, este se carga una vez ha sido seleccionado y, como se puede apreciar, figuran la fecha de detección, el código CIE-9-MC y la enfermedad correspondiente.

Fecha de detección	Código	Enfermedad
31/05/2011	250.00	DIABETES MELLITUS.NEOM.TIPO II
31/05/2011	278.01	OBESIDAD.MORBIDA
31/05/2011	401.9	HIPERTENSION ESENCIAL.NEOM
31/05/2011	410.71	INFARTO AGUDO MIOCARDIO.SUBENDOCARDICO.INICIAL
31/05/2011	414.01	ATEROSCLEROSIS CORONARIA.ARTERIA CORONARIA NATIVA
31/05/2011	427.31	FIBRILACION AURICULA

Página 1 de 3

Anterior 1 2 3 Siguiente

Ilustración 18: Enfermedades del paciente

Para mostrar el cuadro de las enfermedades del paciente se ha empleado la biblioteca Datatables que permite llevar a cabo la creación de tablas interactivas a través de un JSON. Esta tabla es de gran utilidad ya que permite llevar a cabo la ordenación de la misma por cualquiera de los tres campos disponibles ya sea de mayor a menor o al revés. Además, permite paginar la tabla para que así sea más fácil trabajar con ella.

La tercera parte en la que se divide esta vista es la gráfica, la Ilustración 19, que ocupa toda la parte inferior de la vista, en ella se muestra la concentración de oxígeno en sangre del paciente. Para mostrar el gráfico se ha empleado la librería HighCharts, como ya se mencionó anteriormente, y que se ha obtenido de la subsección de HighStock con el cual se ha creado un gráfico de líneas en el que se puede reducir la barra de tiempo, que se muestra en la parte inferior del mismo, para así centrarse en un punto concreto.



Ilustración 19: Gráfica del SPO₂ del paciente

6.3. Predicción del episodio

Para poder llevar a cabo la predicción de un episodio de hipotensión, primero se debe seleccionar un paciente y de esta forma se habilita el botón que se emplea para iniciar dicha predicción. En caso contrario, no se puede comenzar ya que no funciona, puesto que se encuentra deshabilitado.

Una vez se ha pulsado sobre el botón, se muestra en la pantalla la Ilustración 20 y no se permite al usuario realizar otro tipo de acción. Debido a que la predicción puede tardar un tiempo se indica al usuario que el proceso puede durar varios minutos.

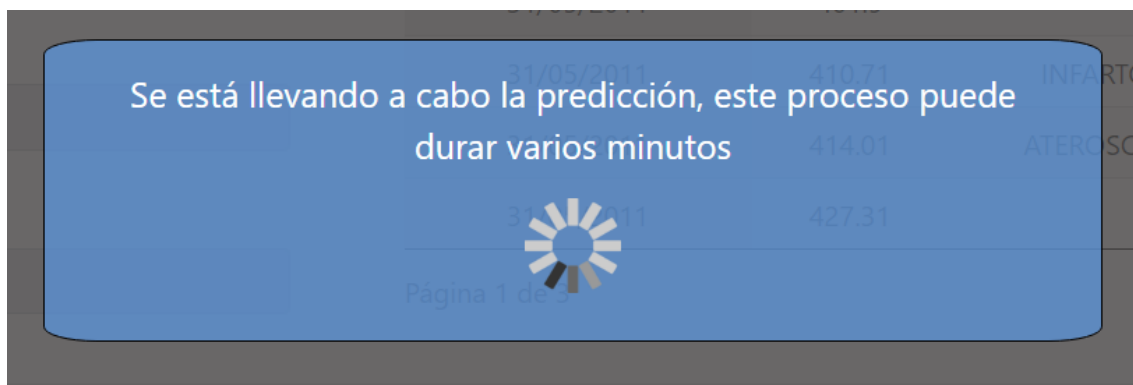


Ilustración 20: Ventana cuando se está prediciendo

Terminada la predicción se oculta el panel anterior y se muestra uno como el que aparece en la Ilustración 21. Es importante mencionar que aunque se haya ocultado, el resto de la aplicación sigue desactivada.

En la imagen se indica que el paciente sí va a sufrir un episodio de hipotensión, en caso contrario el mensaje es el mismo, únicamente cambia el SI por un NO (véase Ilustración 21).

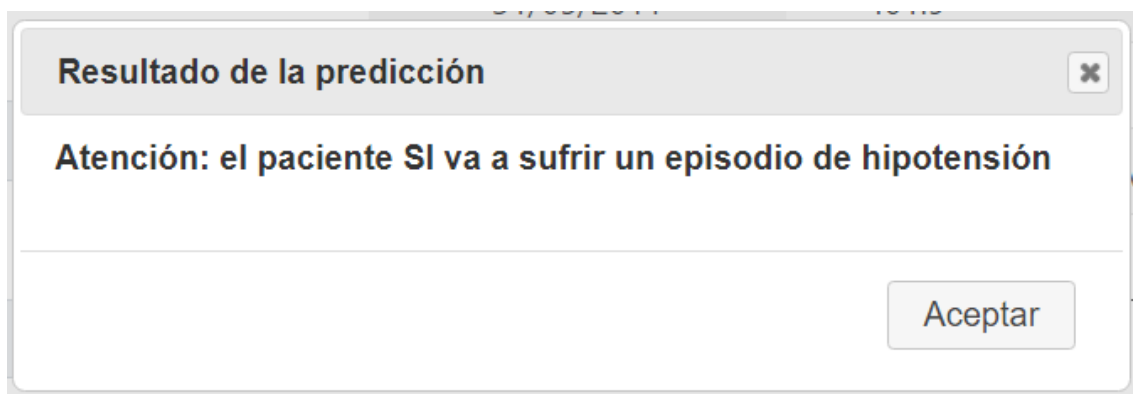


Ilustración 21: Resultado de la predicción

6.4. Búsqueda de pacientes similares

La segunda opción que se puede seleccionar en la barra superior de la aplicación es la de “Pacientes similares”. Este apartado se emplea para buscar pacientes, en función de unos parámetros que se explicarán más adelante, con unas características similares al sujeto que se ha seleccionado.

Esta vista se puede dividir en dos partes, la primera de ellas, la de la izquierda, es una parte estática que siempre se muestra igual y la segunda, la de la derecha, es la parte encargada de mostrar los resultados de la búsqueda en forma de tabla (véase Ilustración 22).

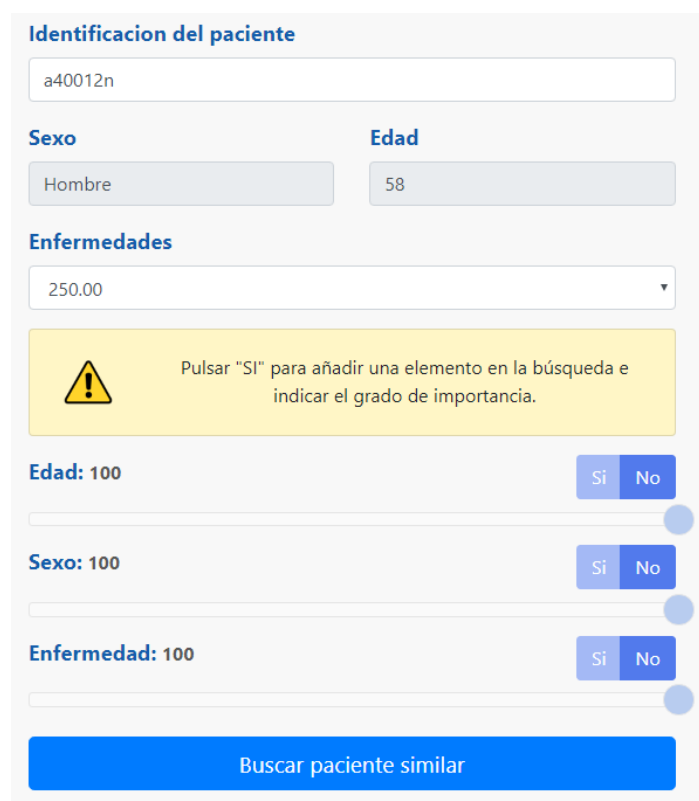
Ilustración 22: Pestaña de búsqueda de pacientes similares

La primera de las dos partes de la que se va a hablar es la izquierda, la Ilustración 23. En ella se permite seleccionar al usuario del cual se desea buscar el similar, para ello deberá seleccionar primero un paciente del desplegable que

se muestra al comenzar al escribir, tal y como se haría en la Ilustración 16. Una vez se ha seleccionado al paciente se muestran en dos campos de texto distintos el sexo y la edad del paciente, también se muestran en un desplegable todas las enfermedades que padece y se habilitan los tres sliders para la selección del peso de los atributos.

Estos atributos se emplean para la búsqueda del paciente y en función de los que se seleccionen obtendremos dos tipos de resultados diferentes que se explicarán cuando se hable de la otra parte de la vista

Cuando el usuario selecciona un atributo se activa el slider que le corresponde a dicha característica. Este slider permite seleccionar el peso o importancia que se le quiere dar en la búsqueda, pudiendo ir desde 1, que es el mínimo valor que se le puede otorgar, hasta 100 que sería el valor más importante.




Identificación del paciente

a40012n

Sexo Hombre **Edad** 58

Enfermedades 250.00

 Pulsar "SI" para añadir una elemento en la búsqueda e indicar el grado de importancia.

Edad: 100

Sexo: 100

Enfermedad: 100

Ilustración 23: Panel izquierdo de búsqueda de pacientes

La segunda parte de la vista de la que se va a hablar es la de la derecha, en esta sección se muestra el resultado de la búsqueda de pacientes. Cabe destacar que se puede presentar en dos formatos.

El primero de ellos es el de la Ilustración 24, que se expone a continuación en el que solo se muestra el código del paciente, el sexo, la edad y si sufre o no un episodio. Aquel paciente que aparece más a la izquierda es el más similar al que se ha escogido para realizar la búsqueda. Esta última parte se puede ocultar y solo se quedarían a la vista los códigos de los pacientes.

En la Ilustración 24 se muestra el resultado, cuando en el panel izquierdo se selecciona la búsqueda por sexo, edad o ninguno de los anteriores, es decir, cómo se carga por defecto la aplicación.

Enfermedades ▼	a40928n	a40282n	a40099n	a41934n	a41495n	a41664n	a41447n	a41835n	a41882n	a40225n
Datos de los pacientes	Mujer (89) Sufre episodio	Hombre (51) No sufre episodio	Hombre (32) Sufre episodio	Mujer (46) No sufre episodio	Hombre (46) No sufre episodio	Hombre (58) No sufre episodio	Hombre (85) Sufre episodio	Hombre (65) Sufre episodio	Mujer (89) Sufre episodio	Mujer (81) No sufre episodio

Ilustración 24: Resultado de la búsqueda de pacientes similares

Otra de las posibles vistas que pueden darse en esta parte de la aplicación es la que se muestra en la Ilustración 25, en este caso se ha realizado la búsqueda de un paciente similar al nuestro pero en el que se ha indicado que se desean tener en cuenta las enfermedades del paciente.

Como se puede apreciar esta vista es más extensa y cuenta con más información de la que se mostraba en la Ilustración 24. La tabla que aparece debajo de los datos de los pacientes son las enfermedades que tienen en común con el que se ha seleccionado. La columna de la izquierda, la que contiene la codificación CIE-9-MC, detalla las enfermedades que padece el paciente que se ha seleccionado y el resto de columnas son las de los enfermos similares. En caso

de que el recuadro contenga un tick significa que sí tiene esa enfermedad y si lo que tiene es un guion quiere decir que no la padece.

En caso de seleccionar uno de los códigos asociado a una enfermedad se abrirá una nueva pestaña dentro del mismo navegador y se mostrará la página del Ministerio de Sanidad en la que se habla de esa enfermedad concreta. Esta página además muestra otras enfermedades similares a la que se haya seleccionado y permite realizar la conversión al último estándar, el CIE-10-MC.

Enfermedades ▼	a41664n	a40921n	a40207n	a40802n	a41466n	a41835n
Datos de los pacientes	Hombre (58) No sufre episodio	Hombre (59) No sufre episodio	Hombre (54) No sufre episodio	Hombre (58) No sufre episodio	Hombre (66) No sufre episodio	Hombre (65) Sufrir episodio
250.00	-	✓	✓	-	✓	✓
272	-	✓	✓	-	✓	✓
272.4	-	-	✓	-	✓	-
277.4	-	-	-	-	-	-
401.1	-	-	-	-	✓	✓
401.9	✓	-	✓	-	✓	-
410.71	-	-	-	✓	-	-
414.00	-	-	-	-	✓	✓
414.01	-	✓	-	✓	✓	✓

Ilustración 25: Resultado de la búsqueda de pacientes similares con enfermedades

6.5. Histórico de pacientes

La última parte, la tercera, de la que se va a hablar de la aplicación es la del histórico de los pacientes. En esta parte se muestra un gráfico en el que se han separado los pacientes por años y dentro de cada año se les divide en dos grupos, dependiendo de que hayan sufrido o no un episodio de hipotensión (véase Ilustración 26).



Ilustración 26: Pestaña de histórico de pacientes

Este gráfico, el de la Ilustración 27, se ha creado usando la biblioteca de HighCharts y cuenta con una serie de funcionalidades que se explican a continuación, en primer lugar se puede descargar el gráfico como una imagen, como un fichero CSV o ver la tabla de la que se ha sacado la información. También, se pueden ocultar las columnas de la tabla, para ello se pulsará sobre la leyenda del gráfico el tipo de paciente que se desea ocultar.

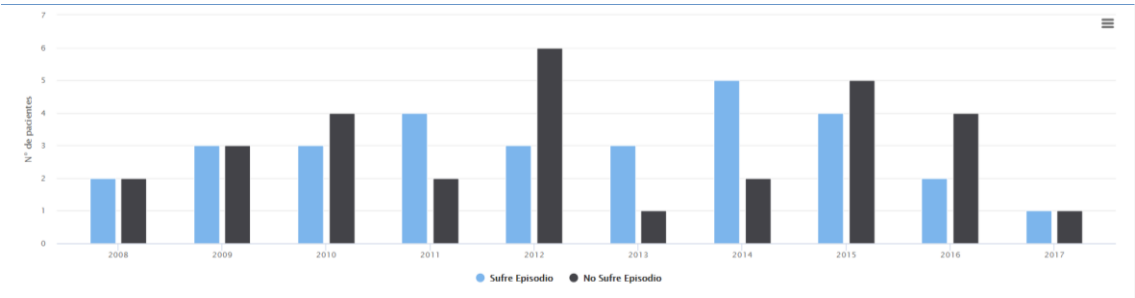


Ilustración 27: Gráfico del histórico de pacientes

Además de tener el gráfico, en esta misma vista, se muestra una tabla donde se pueden observar, agrupados por años, los pacientes que han sufrido o no un episodio de hipotensión (véase Ilustración 28). En el caso de seleccionar uno de los códigos de los pacientes, se mostrará la Ilustración 17 con los datos ya cargados para ver la información más fácilmente.

	Sufre Episodio	No Sufre Episodio
		a40264n
2016	a40113n	a40277n
	a40493n	a40282n
		a41664n
2017	a42277n	a41177n
2008	a40096n	a40234n
	a40439n	a41385n

Ilustración 28: Tabla de paciente ordenada por años

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajo Futuro

Una vez se ha finalizado el proyecto y se ha explicado con la información recogida en esta memoria, se procederá a explicar cómo se han completado estos objetivos.

7.1 Conclusiones

En este proyecto se ha desarrollado Hipotens, esta aplicación está compuesta por dos partes, la primera de ellas es la interfaz del usuario y la segunda es el BackOffice. El objetivo principal de la aplicación es el de crear un predictor de episodios de hipotensión.

A continuación se exponen los objetivos que se han establecido y como se han solventado:

- Se ha facilitado a los doctores la detección temprana de los casos de hipotensión tal y como se muestra en el apartado 6.3 de esta misma memoria, lo cual se pudo llevar a cabo gracias a la

introducción de las redes neuronales en la aplicación y, más concretamente, al sistema de Perceptron que se explica detalladamente en el apartado correspondiente.

- Se ofrece una interfaz sencilla de usar y que es adaptativa a todo tipo de pantalla gracias a la introducción de Bootstrap y de algunas funcionalidades JQuery.
- Para predecir si un paciente va a sufrir un episodio de hipotensión no se necesitan utilizar más de dos clicks en la aplicación. Esto se puede ver en el apartado 6.2 de esta misma memoria en el que se muestra que cuando se ha seleccionado un paciente se habilita un botón que se encarga de predecirlo.
- Se ha facilitado la comparación entre los pacientes, para ello se ha introducido una vista, apartado 6.4 de la memoria, cuya finalidad es la de mostrar los pacientes similares basándose en los campos que el usuario desee ya sea el sexo, la edad o las enfermedades que padece. Además, permite establecer la prioridad que se le da a cada uno de estos campos y así observar cómo afecta cada uno de ellos a la similitud.
- Se ha introducido una vista cuya principal funcionalidad es la de mostrar un histórico y, de esta manera, analizar cómo ha sido la evolución de los episodios en los hospitales.

Con el fin de que el proyecto siga evolucionando, el código está disponible en el siguiente enlace: <https://github.com/AlfTome/TrabajoFinMaster>

7.2 Trabajo futuro

Hipotens es la base de un gran proyecto que puede seguir creciendo y evolucionando de forma sencilla. Estas evoluciones se explican a continuación.

Se pueden introducir nuevos sistemas de recomendación que hagan uso de otros algoritmos de aprendizaje automático como es el caso de árboles de decisión y redes bayesianas entre otros.

Como se ha mencionado, el porcentaje de acierto de la aplicación esta alrededor del 70%, por lo que otro posible trabajo futuro consistiría en mejorar el sistema de predicción, es decir, que acierte una mayor número de posibles pacientes. Otra mejora sería la de pronosticar la enfermedad empleando una menor cantidad de tiempo y de recursos a la hora de predecir.

Por último, también se podría mejorar la aplicación introduciendo en la interfaz web la posibilidad de dar de alta a nuevos pacientes y de esta manera aumentar el número de estos con la finalidad de poder predecir con más casos de prueba.

Chapter 8

Conclusions and Future Work

Once the project has been completed and explained with the information gathered in this report, we will proceed to explain how these objectives have been completed.

8.1 Conclusions

In this project Hipotens has been developed, this application is composed of two parts, the first of which is the user interface and the second is the BackOffice. The main objective of the application was to create a predictor of hypotension episodes.

Below are the objectives that had been established and how they were solved:

- Doctors have been provided with the early detection of cases of hypotension as shown in section 6.3 of this same report, this could be done thanks to the introduction of neural networks in the

application and more specifically to the system of Perceptron that is explained in detail in the section

- It offers a user-friendly interface that is adaptive to all types of screens thanks to the introduction of Bootstrap and some JQuery functionalities.
- To predict if a patient is going to suffer an episode of hypotension, it does not take more than two clicks in the application to carry out their prediction. This can be seen in section 6.2 of this same report, which shows that when a patient has been selected, a button is activated that is responsible for predicting it.
- The comparison between the patients has been facilitated, for it a view has been introduced, section 6.4 of the memory, whose purpose is to show the similar patients based on the fields that the user wishes, whether sex, age or diseases suffering. In addition, it is allowed to establish the priority given to each of these fields in order to see how each of the fields affects the similarity.
- A view has been introduced whose main function is to show a history in order to see how the episodes have evolved in hospitals.

In order for the project to continue evolving, the code is available in the following link: <https://github.com/AlfTome/TrabajoFinMaster>

8.2 Future Work

Hipotens is the basis of a great project that can continue to grow and evolve in a simple way. These evolutions are explained below.

It is possible to introduce new recommendation systems that make use of other automatic learning algorithms such as decision trees, Bayesian networks among others.

As mentioned, the percentage of correctness of the application is around 70%, so another possible future work would be to improve the prediction system, that is, to correct a greater number of possible patients. Another improvement would be to predict the disease using a smaller amount of time and resources when predicting.

Finally, the application could also be improved by introducing the possibility to register in the web interface new patients so that we will be able to increase the number of these and be able to predict with more test cases.

Referencias

- Alagiakrishnan, K., Patel, K., Desai, R. V., Ahmed, M. B., Fonarow, G. C., Forman, D. E., . . . Ahmed, A. (2014). Orthostatic Hypotension and Incident Heart Failure in Community-Dwelling Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 69(2), 223-230. doi:10.1093/gerona/glt086
- Álvarez, C. (6 de mayo de 2015). *Genbeta*. Recuperado el 21 de julio de 2018, de HighCharts gráficas con JavaScript: <https://www.genbeta.com/desarrollo/highcharts-graficas-con-javascript>
- American Society of Anesthesiologists. (11 de junio de 2018). *American Society of Anesthesiologists*. Recuperado el 29 de julio de 2018, de Algorithm Predicts Dangerous Low Blood Pressure During Surgery: <https://www.asahq.org/about-asa/newsroom/news-releases/2018/06/algorithm-predicts-dangerous-low-blood-pressure-during-surgery>
- Cuídate Plus. (29 de enero de 2016). *Cuídate Plus*. Recuperado el 8 de agosto de 2018, de Hipotensión: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/enfermedades-vasculares-y-del-corazon/hipotension.html>
- Evin, D., Hadad, A., Martina, M., & Drozdowicz, B. (2011). Predicción de estados de hipotensión empleando modelos ocultos de Markov. *Revista Facultad de Ingeniería*, 20(30), 55-63. Recuperado el 15 de julio de 2018, de <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1418/1413>
- Guevara Benites, A. (s.f.). *DevCode*. Recuperado el 19 de agosto de 2018, de ¿Qué es Bootstrap?: <https://devcode.la/blog/que-es-bootstrap/>
- jQuery. (s.f.). *jQuery*. Recuperado el 20 de agosto de 2018, de What is jQuery?: <https://jquery.com/>

REFERENCIAS

JSON. (s.f.). *JSON*. Recuperado el 2 de agosto de 2018, de Introducción a JSON: <https://www.json.org/json-es.html>

Kelley, W. N. (1993). *Medicina Interna. Volumen 1* (Segunda ed.). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

Kirao. (29 de enero de 2009). *Kirainet*. Recuperado el 18 de junio de 2018, de Ideas top-down vs ideas bottom-up: <http://www.kirainet.com/ideas-top-down-vs-ideas-bottom-up/>

Mayo Clinic. (18 de marzo de 2018). *Mayo Clinic*. Recuperado el 28 de Julio de 2018, de Presión arterial baja (hipotensión): <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/low-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20355465>

MDN Web Docs. (19 de marzo de 2018). *MDN Web Docs*. Recuperado el 2 de agosto de 2018, de Cómo funciona CSS: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/CSS/Introduction_to_CSS/Como_funciona_CSS

MDN Web Docs. (7 de marzo de 2018). *MDN Web Docs*. Recuperado el 7 de agosto de 2018, de Introducción a Django: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Django/Introducci%C3%B3n>

Pérez, C. (s.f.). *Natursan*. Recuperado el 6 de Agosto de 2018, de Hipertensión y hipotensión: diferencias: <https://www.natursan.net/hipertension-hipotension-diferencias/>

PhysioNet. (s.f.). *PhysioNet*. Recuperado el 4 de agosto de 2018, de PhysioNet: the research resource for complex physiologic signals: <https://physionet.org/>

Pino Reyes, J. J. (s.f.). *Devcode*. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de ¿Qué es HTML?: <https://devcode.la/blog/que-es-html/>

- Saceda Corralo, D. (24 de abril de 2018). *WebConsultas*. Recuperado el 30 de julio de 2018, de Hipotensión Arterial: <https://www.webconsultas.com/salud-al-dia/hipotension-arterial/hipotension-arterial-11379>
- The Django Book. (s.f.). *The Django Book*. Recuperado el 9 de agosto de 2018, de The Model-View-Controller Design Pattern: <https://djangobook.com/model-view-controller-design-pattern/>
- Universia. (19 de julio de 2017). *Universia España*. Recuperado el 16 de agosto de 2018, de ¿Qué es y para qué sirve Phyton?: <http://noticias.universia.es/ciencia-tecnologia/noticia/2017/07/19/1154393/sirve-phyton.html>
- Van Rossum, G. (20 de enero de 2009). *python-history*. Recuperado el 16 de agosto de 2018, de The History of Python: <http://python-history.blogspot.com/2009/01/brief-timeline-of-python.html>